GrKG

BAND
5
1964

Verlag Schnelle
Eberhard und Wolfgang Schnelle
Quickborn und Berlin
Postscheckkonto Berlin-West 191877
Bank: Bankhaus Weber, Berlin 30, Tauentzienstr. 7a
Druck: S. Maurischat & A. Bevensee, Quickborn, Printed in Germany

GRUNDLAGENSTUDIEN

AUS

KYBERNETIK

UND GEISTESWISSENSCHAFT

BAND 5 1964

Herausgeber

MAX BENSE, Stuttgart FELIX VON CUBE, Stuttgart GERHARD EICHHORN †
HELMAR FRANK, Berlin GOTTHARD GÜNTHER, Champaign/Urbana (Illinois)
ABRAHAM A. MOLES, Paris ELISABETH WALTHER, Stuttgart

Schriftleiter Helmar Frank, Berlin

MIT EINEM BEIHEFT

Die Reflexe eines der sensiblen Nerven des Herzens auf die motorischen der Blutgefäße

aus den

Verhandlungen der Königlich Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig

von

E. CYON UND C. LUDWIG

1866

VERLAG SCHNELLE, QUICKBORN UND BERLIN

Neuerdings vollzieht sich eine immer stärker werdende Annäherung zwischen Natur- und Geisteswissenschaft als Auswirkung methodologischer Bestrebungen, für die sich das Wort Kybernetik eingebürgert hat. Die Einführung statistischer und speziell informationstheoretischer Begriffe in die Ästhetik, die invariantentheoretische Behandlung des Gestaltbegriffs und die Tendenzen, zwischen der Informationsverarbeitung in Maschine und Nervensystem Isomorphismen nachzuweisen, sind nur drei Symptome dafür.
Die Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft sollen der raschen Publikation neuer Resultate dienen, welche diese Entwicklung zu fördern geeignet sind. Veröffentlicht werden vor allem grundlegende Ergebnisse, sowohl mathematischer, psychologischer, physiologischer und in Einzelfällen physikalischer als auch philosophischer und geisteswissenschaftlicher Art. Nur in Ausnahmefällen werden dagegen Beiträge über komplexere Fragen der Nachrichtentechnik, über Schaltungen von sehr spezieller Bedeutung, über Kunst und literaturgeschichtliche Probleme etc. angenommen. In geringer Zahl werden Buchbesprechungen veröffentlicht. (GrKG 1, 1960, S. 1)

Erscheinungsweise: Viermal im Jahr mit je 32 bis 48 Seiten.
Beiheft: Im Jahr erscheint für Abonnenten ein Beiheft.
Preis: DM 4,80 je Heft und Beiheft. Für Angehörige von Lehranstalten 2,88 DM.
Im Abonnement Zustellung und Jahreseinbanddeckel kostenlos. Bezug: durch Buchhandel oder Verlag.
Manuskriptsendungen: an Schriftleitung gemäß unserer Richtlinien auf der dritten Umschlagseite.

Schriftleitung

Prof. Dr. Helmar Frank
Institut für Kybernetik
Berlin 46, Malteserstr. 74/100

Les sciences naturelles et les sciences humaines se rapprochent de plus en plus; ce rapprochement est une conséquence des tendances métodologiques appelées cybernetique. L'introduction en esthétique de termes statistiques et surtout de termes de la théorie de l'information, le fait de considérer mathématiquement la notion de Gestalt comme une invariante, et les tendances à chercher des isomorphismes entre la transformation de l'information par les machines et par le système nerveux sont seulement trois exemples du dit rapprochement.
Les «Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft» ont pour but de publier rapidement des résultats nouveaux capables de contribuer à ce dévéloppement. Surtout des résultats fondamentaux (soit de caractère mathématique, psychologique, physiologique et quelquefois physique — soit de caractère philosophique ou appartenant aux sciences humaines) sont publiés. Par contre des travaux concernant soit des questions assez complexes de la théorie de communication et télécommunication, soit des reseaux éléctriques ayant des buts trop spéciaux, soit des problèmes de l'histoire de l'art et de la litérature etc. ne sont acceptés qu'exceptionnellement aussi que les comptes rendus de nouveaux livres. (GrKG, T. 1, 1960, p. 1.)

Il paraît chaque année 4–6 numéros de 32 à 48 pages, et, en général, un numéro spécial, non inclus obltgatoirement dans l'abonnement.
Prix: DM 4.80 le numéro; pour membres des universités et écoles DM 2.88. L'envoi et la couverture du tome complèt (à la fin de chaque année) est gratis pour les abonnés.
Les GrKG sont vendus en librairie ou envoyés par les Editeurs Schnelle
Les manuscrits doivent être envoyés au rédacteur en chef. Quant à la forme voir les remarques à la page 3 de cette couverturen.

Rédacteur en chef

Prof. Dr. Helmar Frank
Institut für Kybernetik
Berlin 46, Malteserstr. 74/100

Natural and cultural sciences are in train to come together closer and closer as a consequence of methodological tendencies called cybernetics. The introduction of terms of statistics and specially of information theory into the terminology of esthetics, the interpretation of 'Gestalten' as mathematical invariants, and the search for isomorphisms by comparing information handling in computers and the brain are only three symptoms of the process mentioned above.
The Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft would like to cultivate this tendencies by rapid publication of new results related to cybernetics, especially results of basic interest, no matter whether belonging to the field of mathematics, psychology, physiology and sometimes even of physics, or rather to the fields of philosophy and cultural sciences. But papers which concern complex technical problems of transmission and processing of information, or electrical networks with very limited purpose, or the history of art and literature, are accepted only exceptionally. There will also be few recensions of books. (GrKG, 1, 1960, p. 1)

GrKG are published in 4–6 numbers each year, with 32–48 pages per number. Normally a special number is edited each year, which may be excluded of subscription if wanted so by subscribers.
Price: DM 4.80 per number. For members of universities and schools DM 2.88. Mailing and cover of the volume (to be delivered together with the last number each year) is free for subscribers. The GrKG may be received by booksellers or directly by the publisher.
Papers should be sent to the editors. For the form of manuscript see page 3 of this cover.

Editor

Prof. Dr. Helmar Frank
Institut für Kybernetik
Berlin 46, Malteserstr. 74/100

ZUM TODE VON GERHARD EICHHORN

Am 23. Mai 1964 verstarb in Stuttgart Gymnasialprofessor Dr. Gerhard Eichhorn. Er war Mitbegründer und Mitherausgeber der Zeitschrift GRUNDLAGENSTUDIEN AUS KYBERNETIK UND GEISTESWISSENSCHAFT und für die Jahresbände 1961 und 1963 ihr verantwortlicher Schriftleiter.

Gerhard Eichhorn wurde 1911 in Jassy (Rumänien) geboren. Nach der Reifeprüfung in Bad Salzungen studierte er Mathematik und Physik an den Universitäten Göttingen und Jena. Dieses Studium schloß er mit der Staatsprüfung für das Höhere Lehramt ab. Während der anschliessenden Doktorandenzeit war er als Hilfsassistent, nach der Promotion zum Doktor der Naturwissenschaften als wissenschaftlicher Assistent am Theoretisch-Physikalischen Institut der Universität Jena tätig. Er habilitierte sich dort 1944. Im Juni 1945 wurde Gerhard Eichhorn mit anderen thüringischen Wissenschaftlern von der amerikanischen Armee nach Heidenheim evakuiert. Im Jahre 1947 legte er in Stuttgart die Pädagogische Staatsprüfung für das Lehramt an Höheren Schulen ab und war seitdem als Studienassessor und Studienrat an einem Stuttgarter Gymnasium tätig. 1960 wurde er zum Gymnasialprofessor ernannt.

Aus seiner wissenschaftlichen Tätigkeit stammen Untersuchungen über "Systeme gekoppelter Rotatoren", "Die grundsätzliche Leistungsfähigkeit von Strahlungsmeßinstrumenten" und über "Magnetische Mikrowellen-Spektroskopie". In den letzten Jahren galt sein wissenschaftliches Interesse vorwiegend Fragestellungen aus kybernetischen Forschungsbereichen.

Als Mitarbeiter und Förderer des Arbeitskreises für Kommunikationsforschung am Lehrstuhl für Philosophie und Wissenschaftstheorie sowie als Leiter des Arbeitskreises für Kybernetik an der Technischen Hochschule Stuttgart hat sich der viel zu früh Verstorbene große Verdienste erworben.

Herausgeber, Verlag und Redaktion der Zeitschrift GRUNDLAGENSTUDIEN gedenken in Dankbarkeit und Freundschaft seiner Persönlichkeit, die an freudigem Einsatz, aufrichtiger Haltung und persönlichem Mut Vorbild war.

ZUR EMPIRISCHEN BESTIMMUNG SUBJEKTIVER INFORMATIONSWERTE VON LEHRBUCHTEXTEN MIT DEM RATETEST NACH SHANNON

von Klaus Weltner

1. Problemstellung

In seiner Arbeit "Prediction and Entropy of Printed English" gibt Shannon (1951) eine Methode an, den Informationswert von Zeichen (Buchstaben) innerhalb von Textzusammenhängen variabler Länge abzuschätzen und in Grenzen einzuschließen.

Dabei müssen Versuchspersonen, denen der dem Zeichen an der Stelle k vorausgehende Text bekannt ist, dieses Zeichen aus einem gegebenen Repertoire (Buchstaben) erraten. Auf jeden Rateversuch wird der Versuchsperson nur mitgeteilt, ob das geratene Zeichen richtig oder falsch war. Aus der Analyse der Zahl der Rateversuche lassen sich dann die Grenzen für den Informationswert des Zeichens bestimmen. Dieses Verfahren wurde von verschiedenen Autoren benutzt, um die bedingte Information von Buchstaben in englischen Texten als Funktion der Länge des vorausgegangenen Textes, der Stellung des Zeichens innerhalb des Wortes, der Wortart usw. zu untersuchen (Langer 1962). Dabei wurden immer Daten angestrebt, die für die Sprache allgemein gelten.

Als Nachteil des Verfahrens gilt dabei, daß Unterschiede in der Sprachbeherrschung der Versuchspersonen, Unterschiede in ihrem Wortrepertoire, sowie Unterschiede in der Kenntnis der sachlichen Inhalte bei längeren Texten, sowie eine nicht repräsentative Auswahl der untersuchten Textsegmente als Fehlerquellen in Betracht gezogen werden müssen.

Den Pädagogen interessiert gerade die umgekehrte Fragestellung. Er möchte die Unterschiede in den subjektiven Informationswerten ermitteln, wie sie sich auf Grund der subjektiven Sprachbeherrschung, des subjektiven Wortrepertoires, sowie der subjektiven Vorkenntnisse über den im Text behandelten Sachverhalt ergeben, um dann weiter zu untersuchen, welchen Einfluß Unterricht auf diese Daten hat.

Gerade weil bei diesem Verfahren für die Bestimmung der Information die Zahl der subjektiven Fortsetzungserwartungen aktiviert wird, scheint es also besonders geeignet zu sein, empirisch die Daten

zu gewinnen, die für die informationspsychologische Beschreibung pädagogischer Vorgänge wichtig sind.

So werden die subjektiven Informationswerte von Lehrbuchtexten für bestimmte Kindergruppen (Klassen) davon abhängen, ob der in den Texten dargestellte Sachverhalt im Unterricht bereits behandelt wurde oder nicht.

Dann lassen sich diese Differenzen ermitteln und als die zu lernende semantische Information des Textes interpretieren. Die auch bei Kenntnis des Sachverhaltes noch verbleibende Information des Textes mißt dann dessen syntaktische Information.

Durch Bestimmung dieser Daten an Hand konkreter Lehrbuchtexte und die Ermittlung der Veränderung durch Unterricht lassen sich dann auch Aussagen gewinnen über den subjektiven Informationsfluß bei Unterrichts- und Lernprozessen. Diese Aussagen können mit den Angaben der Informationspsychologie über Informationsaufnahmekapazitäten verglichen werden.

Der Wert dieser Vergleiche liegt darin, daß hier eine erste Beziehung hergestellt wird zwischen den relativ exakten Aussagen einerseits, die sich auf Versuche mit meist sinnfreien Texten innerhalb kurzer Zeiten (0 - 10 Gegenwartsdauern) stützen (Frank, 1962, S. 92ff, 126 f; Riedel 1964), und Aussagen über informationelle Prozesse im Unterricht andererseits, die sich auf sinnhaltige Texte mit semantischer und syntaktischer Information und längere Zeiten (Größenordnung 10^2 bis 10^3 Gegenwartsdauern) beziehen.

2. Methode

Die Versuchsperson muß das Zeichen an der Stelle k eines Textes erraten. Zur Verfügung steht ihr die Kenntnis des vorangegangenen Textes (mindestens 100 vorangehende Zeichen) und die Kenntnis des Repertoires (Buchstaben). Auf den Rateversuch werden nur die Antworten "richtig" oder "falsch" gegeben. Die Rateversuche werden so lange fortgesetzt, bis das richtige Zeichen geraten wird. Die Anzahl der Rateversuche wird notiert. In dieser Weise wird ein fortlaufender Text erraten. Stehen die Ergebnisse der Rateversuche für große Zeichenzahlen zur Verfügung, lassen sich nach Shannon Maximalwerte und Minimalwerte für die bedingte Negentropie angeben.

Abkürzungen: Gesamtzahl der Zeichen : N

Anzahl der Zeichen, für deren Erkennung v Rateversuche benötigt wurden : N_v

Anzahl der Rateversuche : v

Relative Häufigkeit der N_v : h_v

$$H_{max} = - \sum_{1}^{r} h_v \cdot ld\, h_v$$

$$H_{min} = \sum_{1}^{r} h_v \left(v\; ld\; v - (v-1)\; ld\; (v-1) \right) .$$

Die obere Grenze ist die theoretische Negentropie der Verteilung der Ratezahlen.

Das der unteren Grenze zugrundeliegende Denkmodell setzt vereinfachend voraus, daß eine gegebene Zeichenfolge an der Stelle k eine begrenzte Anzahl von gleichwahrscheinlichen Fortset - zungsmöglichkeiten hat.

Die maximale Zahl der Fortsetzungsmöglichkeiten ist r. Sie wird für den Rater eingeschränkt durch syntaktische Beschränkungen bei der Wortbildung, der Bildung der Wortfolgen und durch Beschränkungen, die sich aus seiner Kenntnis des semantischen Zusammenhanges ergeben. Die bedingte Information des Zeichens ist dann gleich dem Logarithmus dualis der verbleibenden Fort - setzungsmöglichkeiten. Aus dieser Grundannahme folgt durch Rechnung der oben angegebene Ausdruck für die subjektive bedingte Information des Textes.

Obwohl hier zeichenweise geraten wird, bestimmt man die geringere Information des Textes auf dem Repertoire der Superzeichen höherer Ordnung. In dem einzelnen Rateversuch raten die Versuchspersonen durchweg so, daß sie ihnen sinnvoll erscheinende Fortsetzungen vorschlagen .

Auch wenn Lernen vornehmlich in der Gewinnung von Superzeichen höherer Ordnung besteht, verändern sich damit doch gleichzeitig die bedingten subjektiven Fortsetzungsmöglichkeiten, wie sie der Test mißt, so daß er durchaus geeignet erscheint, bei der Erfassung von Lernprozessen angewandt zu werden.

Da dieses Denkmodell den Vorgang beim Raten in befriedigender Weise approximiert, wird es den meisten Auswertungen zugrunde gelegt.

3. Ergebnisse

a) Semantische Information von Lehrbuchtexten

Den Rateversuchen lag ein Lehrbuchtext über die Funktionsweise des Kompressorkühlschrankes zugrunde. Dieser Lehrbuchtext ist die geschlossene Zusammenfassung des Inhaltes eines Lehrprogramms über den Kühlschrank. Damit war die Möglichkeit gegeben, den Unterricht und damit das Lernergebnis zu objektivieren.

Der Ratetest wurde mit Kindern des 9. Schuljahres einer Mittelschule durchgeführt. Der gesamte Text besteht aus 4800 Zeichen. Aus dem Text wurden 29 zusammenhängende Passagen von je 50 Zeichen durch ein Zufallsverfahren ausgewählt. Dem ratenden Schüler stand jeweils der vorausgehende und der bereits geratene Text zur Verfügung.

Der Ratetest wurde durch zwei Gruppen von je 7 Schülern durchgeführt. Jeder Schüler mußte 200 Zeichen erraten.

1. Gruppe: Ratetest ohne Vorkenntnisse
2. Gruppe: Ratetest eine Woche nach der Bearbeitung eines Lehrprogramms über den Kühlschrank

	H_{min}	H_{max}
Gruppe 1 (ohne Unterricht)	0,80	1,63
Gruppe 2 (mit Unterricht)	0,46	1,06
Differenz ΔH (sem. Information)	0,34	0,57

Die Differenzen der subjektiven Information sind sehr signifikant. Der Standardfehler der Werte beträgt 0,06 bit/Zeichen. Die subjektive Information des Textes für die Schüler ohne Vorkenntnisse wird damit zwischen den Grenzen 0,80 und 1,63 bit/Zeichen eingeschlossen. Davon können 0,34 bis 0,57 bit/Zeichen als semantische Information gelernt werden, während die verbleibende syntaktische Information zwischen den Grenzen 0,46 und 1,06 bit/Zeichen liegt.

Betrachtet man die nach einem Zufallsverfahren ausgewählten Textstellen als repräsentative Stichprobe des ganzen Textes, so hat der Text und damit das Lehrprogramm einen Lerninhalt von 1600 bis 2700 bit für diese Kinder. Sieht man vereinfachend im Sinne der Redundanztheorie des Lernens (v. Cube, 1963) die Aufgabe des Unterrichtes darin, durch Bildung von Superzeichen höherer Ordnung die subjektive semantische Information des Textes für den Schüler abzubauen und in dessen vorbewußtem Gedächtnis (Langspeicher) zu speichern, dann liegt der Redundanzgewinn für das ganze Lehrprogramm zwischen den Grenzen 1600 und 2700 bit.

Legt man den folgenden Überlegungen den unteren Grenzwert zugrunde, so lassen sich Mindestwerte für die Zuflußkapazität zum vorbewußten Gedächtnis in Unterrichtsstunden angeben.

Die mittlere Lernzeit für dieses Lehrprogramm beträgt 90 Min. und setzt sich aus zusammenhängenden Lernzeiten von 30 - 40 Min. zusammen (Weltner 1964). Bei einer Gesamtinformation von - mindestens - 1600 bit entspricht das einer mittleren Zuflußkapazität zum vorbewußten Gedächtnis von - mindestens - $C_v = 0{,}3$ bit/sec.

Dieser Wert schließt sich in befriedigender Übereinstimmung an die für Kurzzeitversuche (Frank, 1962; Riedel, 1964) angegebenen Werte von $C_v = 0{,}5 - 0{,}7$ bit/sec an.

In dem hier vorliegenden niedrigeren Wert sind die Ermüdungserscheinungen während längerer Lernzeiten im Rahmen einer Unterrichtsstunde mit erfaßt.

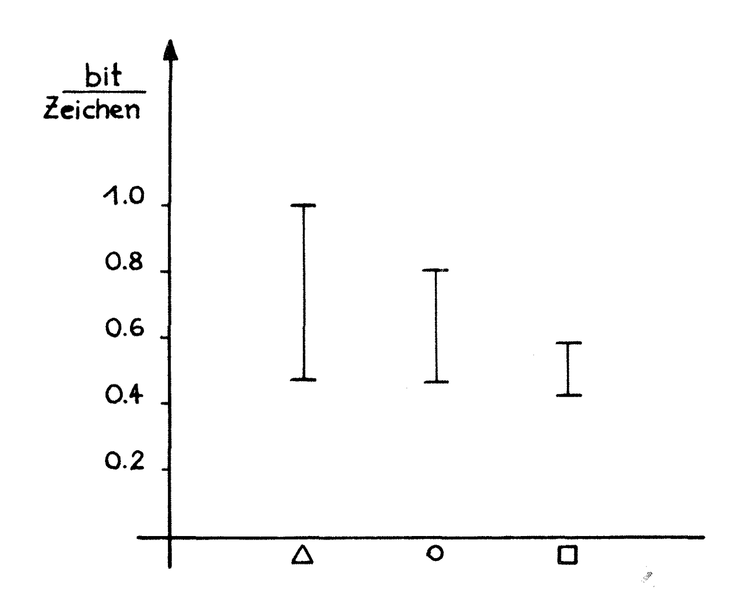


Bild 1:

Subjektive Information eines Lehrbuchtextes

oberer Wert: vor Unterricht

unterer Wert: nach objektiviertem programmiertem Unterricht

△ 9. Schuljahr Volksschule: 1113 Zeichen, fortlaufender Text

○ 9. Schuljahr Mittelschule: 1442 Zeichen, repräsentative Textstichprobe

□ Erwachsene: 955 Zeichen, fortlaufender Text

Die in einer Unterrichtsstunde im vorbewußten Gedächtnis zu speichernde subjektive Lerninformation dürfte damit bei - mindestens - 700 bit liegen, wobei es sich hier um objektivierten Unterricht mittels eines Lehrprogrammbuches handelte, der relativ hohe Konzentration beim Lernenden erzwingt.

b) Abhängigkeit der subjektiven Information von der Gruppe der Versuchspersonen

In einem Vorversuch wurden ähnliche Tests mit Kindern einer 9. Volksschulklasse und mit Erwachsenen durchgeführt. Die dort erhaltenen Werte sind nur bedingt vergleichsfähig, da in den Vorversuchen ein längeres zusammenhängendes Stück des Textes und nicht eine repräsentative Stichprobe geraten wurde.

Dennoch ist ein Vergleich aufschlußreich.

In der Zeichnung werden nur die Werte für dieMinimalinformationangegeben. Die syntaktische Information dieses Textes ist für alle Gruppen nahezu gleich. Die Lerninformation hingegen hängt von der Personengruppe ab. Sie sinkt mit steigendem Alter und Schulbildung; der Lehrtext ist für ältere Personen leichter als für jüngere.

c) Semantische Information von Prosatexten

Mit Studenten wurden entsprechende Versuche mit erzählenden Texten durchgeführt. Es wurden zwei Gruppen zu je 4 Personen gebildet. Beide Gruppen kannten den Anfang einer Kurzgeschichte. Jede Versuchsperson mußte einen anschließenden zusammenhängenden Text von 244 Zeichen erraten. Dabei war der einen Gruppe der inhaltsmäßige Fortgang der Geschichte mit völlig anderen Worten als im Text mitgeteilt worden, der anderen war nichts mitgeteilt worden. Zwischen den Gruppen traten signifikante Unterschiede im subjektiven Informationswert auf. Hier wird nur die Minimalinformation mitgeteilt.

$$H_{\text{ohne Vorkenntnis}} = 0{,}96$$

$$H_{\text{mit Vorkenntnis}} = 0{,}62$$

$$\Delta H_{\text{min}} = 0{,}34 \pm 0{,}09 \text{ bit/Zeichen}$$

d) Information pro Wort als Funktion der Wortlänge

Schließlich wurden mit insgesamt 20 Studenten Ratetests bei verschiedenen Texten durchgeführt,

die den Versuchspersonen inhaltlich bekannt waren. Die Texte von insgesamt 4000 Zeichen entstammten

a) Physikbüchern für Volksschulen: Kraft und Stoff;

Natur und Menschenwerk

b) Frank: Kybernetische Grundlagen der Pädagogik

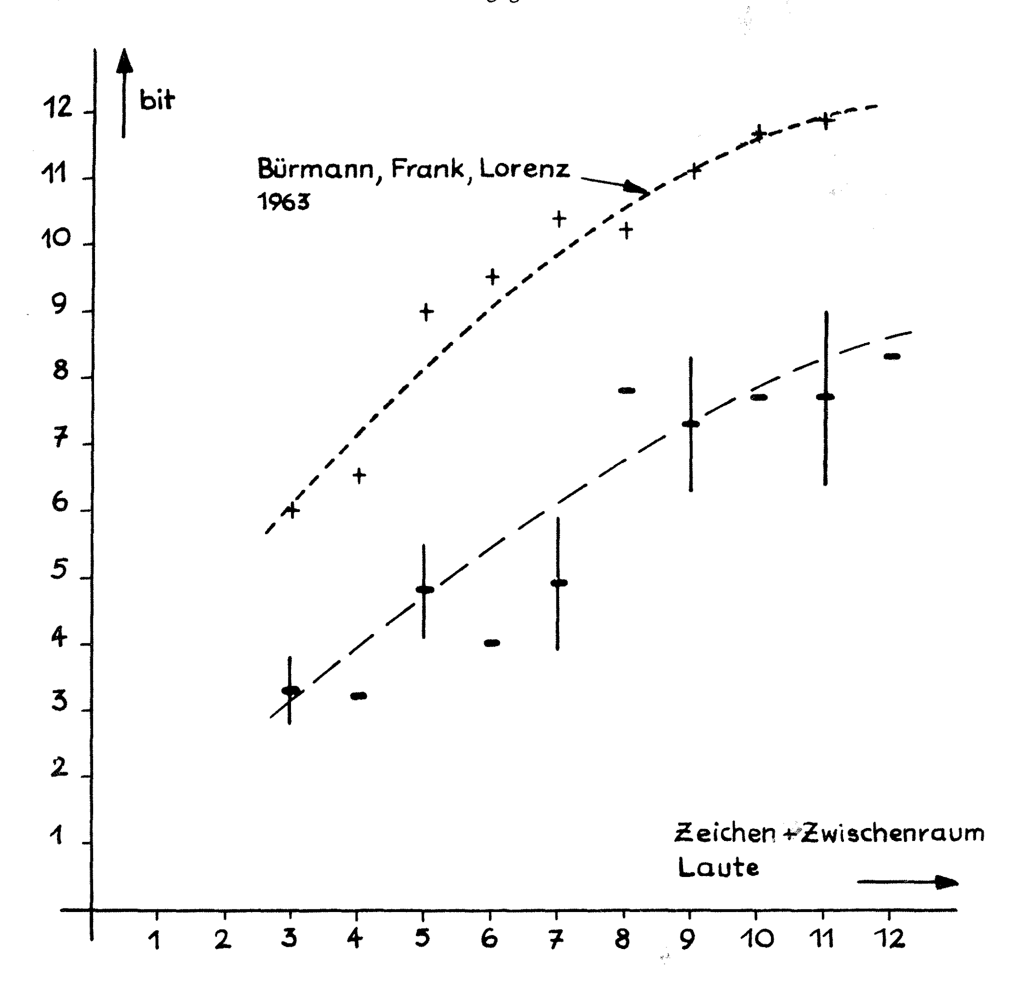


Bild 2:

Wortinformation als Funktion der Wortlänge (Senkrechte Striche = Standardfehler des Wertes)

In der Tabelle werden die Minimalinformationen mitgeteilt.

	Zeichen	H_{min}
Kraft und Stoff	1205	0,66
Natur und Menschenwerk	1751	0,64
Frank (1962)	967	0,87
gewichtetes Mittel	3923	0,70

Die Unterschiede spiegeln die Differenzen der syntaktischen Information der vorliegenden Texte.

Für diese Texte wurde noch die Information pro Wort ausgerechnet und in Abb. 2 als Funktion der Zeichenzahl des Wortes dargestellt. Zum Vergleich sind die entsprechenden Werte eingezeichnet, die Bürmann, Frank, Lorenz 1963 auf anderem Wege für verdampfte Texte gewonnen haben. In den hier beträchtlich tiefer liegenden empirischen Werten dürften die Beschränkungen im Satzbau, in der Wortfolge und im Wortrepertoire durch den jeweiligen Vorwurf des Textes erfaßt sein. Die Ergebnisse stützen die Abschätzungen, die einen mittleren Informationswert pro Wort von etwa 5 bit im Satzzusammenhang bei einer mittleren Wortlänge von 6 Zeichen annehmen. Trotz der großen Streuung der Einzelwerte dürfte auch hier die monotone Zunahme der Information des Wortes mit der Wortlänge bestätigt werden.

4. Zusammenfassung

1. Der von Shannon angegebene Ratetest wird benutzt, um empirisch subjektive Informationswerte von Lehrbuchtexten zu ermitteln. Diese Anwendung des Verfahrens ergibt ein erstes grobes aber objektives Maß für den Lerninhalt und damit auch für den subjektiven Schwierigkeitsgrad solcher Texte. Es scheint möglich, dabei die Gesamtinformation in ihren syntaktischen und semantischen Anteil zu trennen.

2. Der Lehrinhalt eines Lehrprogramms wurde empirisch mit rund 1600 bit ermittelt. Die in einer Unterrichtsstunde vom Schüler zu speichernde subjektive Information wird mit 700 bit abgeschätzt.

3. Weitere Vorversuche zeigen, daß das Verfahren geeignet ist, weitere empirische Daten wie mittlere Information pro Wort, subjektive Information bestimmter Texte für standardisierte Personengruppen, Verminderung der Information in zusammenhängenden gegenüber verdampften Texten zu gewinnen.

Für die Durchführung der Rateversuche und der Rechnungen danke ich Frl. Ch. Böttcher, Frl. E. Heemann und Herrn H. Röhrig (PH Osnabrück).

SCHRIFTTUMSVERZEICHNIS

Bürmann, Günther; Frank, Helmar und Lorenz, Lothar: Informationstheoretische Untersuchungen über Rang und Länge deutscher Wörter. GrKG, Bd. 4, Nr. 3/4, 1963

v. Cube, Felix: Die Redundanztheorie des Lernens und ihre Anwendung bei Lehrmaschinen in: H. Frank (Hsg), Lehrmaschinen in kybernetischer und pädagogischer Sicht, Band I. Klett-Oldenbourg, 1963.

Frank, Helmar: Kybernetische Grundlagen der Pädagogik - Eine Einführung in die Informationspsychologie, Agis-Verlag, Baden-Baden und Gauthier-Villars Editeur - Paris 1962.

Langer, Dieter: Informationstheorie und Psychologie, Verlag Hogrefe - Göttingen, 1962.

Riedel, Harald: Die Altersabhängigkeit informationspsychologischer Parameter und ihre mögliche Bedeutung für Lehralgorithmen in H. Frank (Hsg), Lehrmaschinen in kybernetischer und pädagogischer Sicht, Band II, Klett-Oldenbourg, Stuttgart und München, 1964.

Shannon, C. E.: Prediction and Entropy of printed English. The Bell System Technical Journal, January 1951.

Weltner, Klaus: Eine vergleichende Untersuchung von Lernleistung und Erinnerungsfestigkeit bei programmiertem Unterricht und Direktunterricht in H. Frank (Hsg.) Lehrmaschinen in kybernetischer und pädagogischer Sicht, Band II, Klett - Oldenbourg, Stuttgart und München, 1964.

Eingegangen am 18. Juli 1964.

SCHÜLER- UND LEHRER - RISIKO BEI STICHPROBENPRÜFUNGEN VON LERNLEISTUNGEN

von Martin Hengst, Berlin

1. Einleitung

Bei der Übermittlung von Tatsachenwissen müssen Lehrende und Lernende immer wieder prüfen, wieviel der dargebotenen Informationen tatsächlich gespeichert worden sind. Ist die Gesamtmenge der Informationen noch nicht zu groß, dann kann der Erfolg des Lernprozesses zunächst 100 %-ig kontrolliert werden. So werden z. B. in der Schule die ersten Regeln, Lehrsätze oder Vokabeln eines "neuen" Faches noch bei jedem Schüler einer Klasse vollständig überprüft werden können. Mit wachsendem Umfang der Informationen, d. h. mit dem Fortschreiten der Lektionen verbietet sich aber eine totale Prüfung von selbst; man muß sich auf Stichprobenprüfungen beschränken.

Bei einer Stichprobenprüfung werden dem Schüler n Fragen vorgelegt, die nur einen Teil aller N Informationen betreffen, also $n < N$, und die entweder richtig oder falsch bzw. nicht beantwortet werden können. Wir wollen die Anzahl der falschen Antworten mit z bezeichnen. Hat der Schüler alle N Informationen des angebotenen Repertoires gespeichert, so wird stets $z = 0$ sein, wie wir auch n wählen mögen. Hat umgekehrt der Schüler überhaupt nichts gelernt, so wird - wieder unabhängig von n - die Anzahl z der falschen Antworten gleich n werden.

Erfahrungsgemäß beherrschen aber nur wenige Schüler ständig alle bis zu einem bestimmten Tage dargebotenen Informationen. Dementsprechend bilden wir ja auch Bewertungs- oder Beurteilungsskalen, die im allgemeinen 6 Klassen von "sehr gut" bis "ungenügend" umfassen. Für viele Fachbereiche besteht auch Übereinstimmung darüber, wieviel Prozent der Gesamtpunktzahl, d. h. der Menge aller Informationen, den einzelnen Beurteilungsnoten entsprechen sollen. So kann man z. B. bei mathematischen Arbeiten für eine ausreichende Leistung (IV) mindestens 51 %, für befriedigende Leistungen (III) etwa 66,7 %, für gute Leistungen (II) ca. 75 % aller Punkte usw. fordern. Ähnlich könnte man bei der Überprüfung von Vokabeln oder unregelmäßigen Verben u. a. verfahren. Selbstverständlich sind auch andere Bewertungsskalen möglich und gebräuchlich. Wir wollen hier aber nicht die damit zusammenhängende Problematik diskutieren, sondern im folgenden voraussetzen, daß über die zugrundeliegende Beurteilungsskala Übereinstimmung erzielt worden ist.

2. Problemstellung

Während nun bei einer Totalprüfung der Prozentsatz der gelernten Information genau ermittelt und damit der Lernerfolg an Hand der Bewertungsskala sicher beurteilt werden kann, ergeben sich bei Stichprobenprüfungen eigentümliche Schwierigkeiten, die wir an einem Beispiel erläutern wollen. Sollen N = 20 Informationen, etwa 20 Vokabeln, gespeichert werden, so können wir den Lernerfolg stichprobenhaft prüfen, indem wir jedem Schüler $n < N$ Fragen vorlegen, wobei es für die nachfolgenden Überlegungen vollkommen irrelevant ist, ob diese Fragen von einem Lehrer oder von einem Lehrautomaten gestellt werden. Der Lernerfolg gelte als ausreichend, wenn maximal c der n Fragen falsch beantwortet werden, d.h. mindestens n - c Antworten richtig sind. Wir wollen in diesem Fall sagen, daß nach dem Prüfplan (n;c) geprüft wird. Die Zahl c der maximal zulässigen falschen Antworten heiße "Annahmezahl" oder auch "Kriterium". Offenbar muß $c < n$ sein.

Stellen wir z.B. n = 3 Fragen und lassen maximal eine falsche Antwort zu, entscheiden wir also nach dem Prüfplan (n;c) = (3;1) über "Annahme" oder "Ablehnung" der Leistung, so sind offenbar zwei verschiedene Fehlentscheidungen denkbar:

ein Fehler 1. Art, die irrtümliche Ablehnung eines ausreichenden Wissens, wenn der Schüler z.B. 17 Vokabeln beherrscht, in der Stichprobe aber zufällig nach den drei unbekannten Vokabeln gefragt wird, und

ein Fehler 2. Art, die irrtümliche Annahme eines unzureichenden Wissens, wenn der Schüler z.B. nur 9 Vokabeln beherrscht, in der Stichprobe aber zufällig mindestens zwei der bekannten Vokabeln erfragt werden.

Beide Fehler sind bei Stichprobenprüfungen unvermeidbar; sie verschwinden nur, wenn der Schüler alle oder gar keine Informationen gespeichert hat, weil in diesen beiden Fällen die Anzahl z der falschen Antworten in den Stichproben stets mit Sicherheit gleich Null bzw. gleich dem Stichprobenumfang n wird. Wollen wir trotzdem die Lernleistungen auf Grund von Stichproben beurteilen, so müssen wir untersuchen, mit welcher statistischen Sicherheit diese beiden Fehlerarten bei fortwährender Anwendung eines Prüfplanes (n;c) zu erwarten sind und von welchen Größen sie abhängen.

Bild 1: Stichprobenverteilung nach z

3. Hypergeometrische Verteilungen

Wir untersuchen zu diesem Zweck zunächst einmal, wieviel verschiedene Stichproben (n;z) vom Umfange n mit z falschen Antworten bei einem Repertoire von N Informationen, von denen Z falsch oder unbekannt sind, "gezogen" werden können. Abb. 1 zeigt uns drei einfache Beispiele, an denen wir die Anzahl der möglichen Stichproben noch bequem übersehen können. Wir haben 3 Repertoires mit $N_1 = 5$, $N_2 = 10$ und $N_3 = 10$ Informationen. Der Anteil falscher oder nicht gespeicherter Informationen betrage $p_1' = p_2' = 0,2$ und $p_3' = 0,3$, d.h. die Anzahl Z der "falschen" Informationen sei $Z_1 = 1$, $Z_2 = 2$ und $Z_3 = 3$. Die einzelnen Informationen sind durch Zahlen symbolisiert, wobei die falschen bzw. nicht gewußten Informationen mit einem Kreis versehen sind. Der Stichprobenumfang beträgt in allen Fällen n = 2.

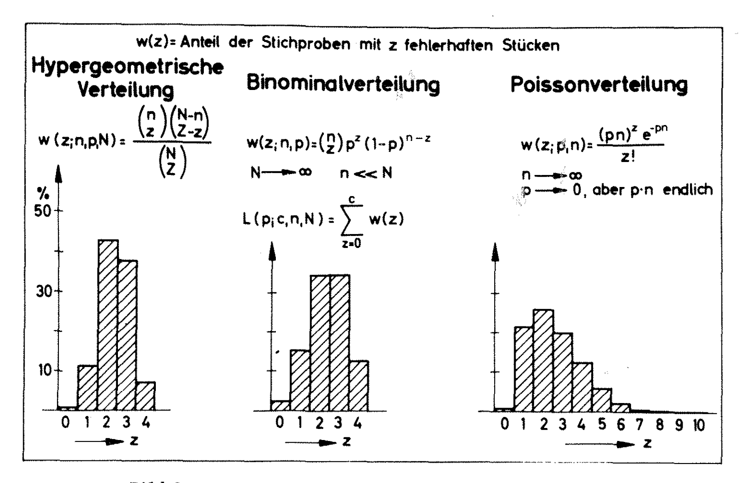


Bild 2: Definition von L(p)

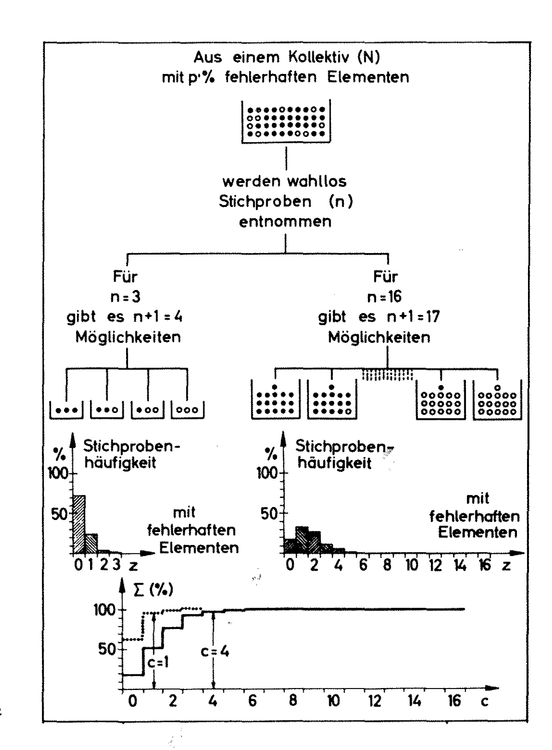


Bild 3:

Stichprobenentnahme

Greift man z. B. aus einem Repertoire von $N_1 = 10$ Informationen, das $Z_1 = 2$ "fehlerhafte" enthält, wahllos eine Stichprobe von n = 2 Fragen, so kann man offenbar 0, 1 oder 2 falsche Antworten erhalten. Die verschiedenen möglichen Realisationen sind unter den entsprechenden z-Werten aufgeführt. Darunter stehen die Häufigkeitsverteilungen, denen wir den Anteil der verschiedenen Stichprobenklassen (n;z) an der Gesamtzahl aller möglichen Stichproben leicht entnehmen können. Diese Häufigkeitsverteilungen lassen sich mit Hilfe der Kombinatorik errechnen. Sie werden hypergeometrische Verteilungen genannt. Ihre allgemeine Formel w(z) ist im linken Teil der Abb. 2 angegeben. Aus Abb. 1 und 3 erkennt man, daß sie von den Größen N, p' bzw. Z und n abhängen. Unter der Formel für w(z) der Abb. 2 steht das Staffelbild der hypergeometrischen Verteilung für N = 10, Z = 6 (d.h. P' = 0,6) und n = 4. Der Ausdruck w(z) = w(z;n,N,Z) = w(z;n,N,p') liefert uns also den Anteil der Stichproben (n;z) an der Gesamtheit aller möglichen Stichproben, die sich aus dem Repertoire (N;Z) = (N;p') "ziehen" lassen. Wir können auch sagen, daß w(z) die Wahrscheinlichkeit ist, auf n Fragen aus einem Repertoire mit N Informationen, von denen Z nicht gespeichert sind, gerade z falsche Antworten oder "Merkmalsträger" zu erhalten.

Wird N sehr groß, d.h. geht N gegen unendlich, bleibt aber n gegenüber N relativ klein, $n \ll N$, so geht die hypergeometrische in die binomische Verteilung über, deren Formel wir auf der rechten Seite der Abb. 2 finden. Das zugehörige Staffelbild zeigt die Binomialverteilung für p' = 0,6 und n = 4, die denselben Mittelwert 2,4 wie die danebenstehende hypergeometrische Verteilung besitzt, der sie gewissermaßen entspricht.

Mit der Kenntnis von w(z) können wir nun auch leicht den Anteil L(c) der Stichproben mit höchstens c falschen Antworten berechnen. Wir stellen dazu in einer Häufigkeitsverteilung w(z) alle Säulen für z = 0 bis z = c übereinander, bilden also den Ausdruck

$$L(c) = L(c;n,N,Z) = w(0) + w(1) + \dots\dots + w(c) = \sum_{z=0}^{c} w(z;n,N,p')$$

Das Bild dieser Summenprozentverteilung L(z) finden wir in der untersten Reihe der Abb. 3, bei der ein großes Repertoire mit einem Anteil von p' = 0,1 "falscher" Informationen vorausgesetzt wurde. Der Ausschußanteil ist durch Leerkreise symbolisiert. Stellt man jeweils n Fragen, so gibt es offenbar n + 1 Möglichkeiten für z: 0, 1, 2, ..., n. Da in unserem Beispiel $n \ll N$ gewählt wurde, konnte w(n;z) mit Hilfe der Binomialverteilung berechnet werden. In der dritten Reihe der Abb. 3 finden wir die Verteilungen für w(3;z) und w(16;z). Aus den darunter stehenden Treppenkurven der zugehörigen Summenprozentverteilungen L(z) können wir den Anteil der Stich-

proben mit höchstens c falschen Antworten ablesen. Erfragen wir also fortlaufend tagaus tagein aus einem großen Repertoire Informationen, von denen 10 % nicht gelernt wurden, so werden wir in 90 % aller Fälle auf drei Fragen höchstens eine, auf 16 Fragen höchstens 4 falsche Antworten erhalten.

Da wir einen Lernerfolg als ausreichend beurteilen wollten, wenn wir auf n Fragen nicht mehr als c falsche Antworten erhalten, liefert uns L(c) gerade den Anteil der Prüfungen, die bei fortlaufender Anwendung des Prüfplanes (n;c) bestanden werden, wenn Umfang N und Ausschußanteil p´ des Repertoires während dieser Zeit unverändert bleiben.

4. Die Operations-Charakteristik (OC)

Auf Grund seiner Definitionsgleichung kann L auch als Funktion von p´ aufgefaßt werden, deren Verlauf dann natürlich noch von den Parametern n, c und N abhängt. Abb. 4 veranschaulicht, wie man bei vorgegebenem Prüfplan (n;c) und Repertoire-Umfang N die Annahmewahrscheinlichkeit L als Funktion von dem Ausschußanteil p´ des Repertoires gewinnen kann. In der oberen Reihe sind die Summenprozentkurven L(p´;n, c) für (n;c) = (5;2) und p´ = 2,5 bis p´ = 97,5 dargestellt, wobei die zu z = 2 gehörenden Ordinaten besonders hervorgehoben wurden. Wir können also jeder Treppenkurve die Wahrscheinlichkeit entnehmen, auf n = 5 Fragen aus einem Repertoire mit p´

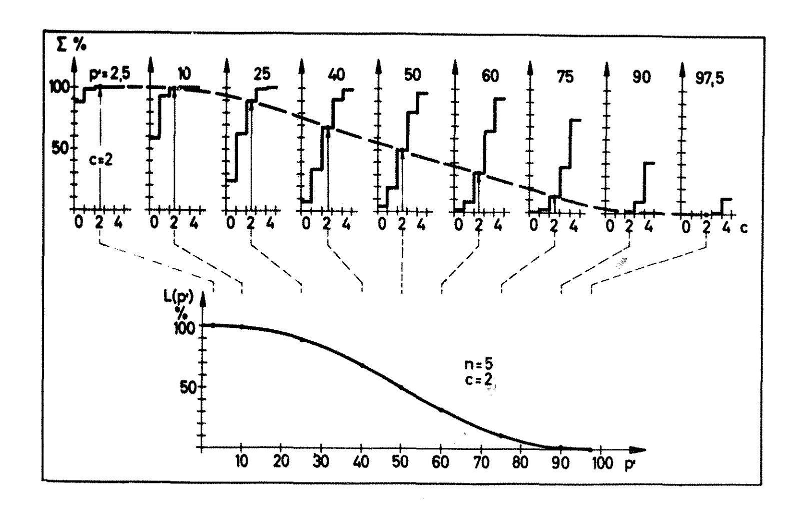


Bild 4: Entstehung einer OC

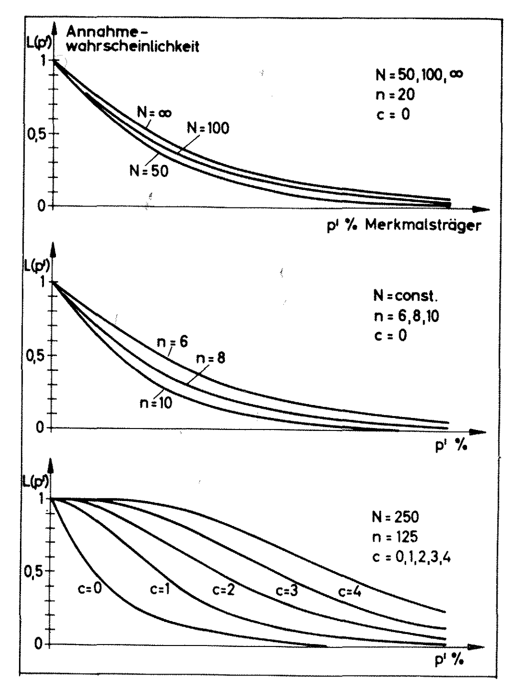


Bild 5:

Abhängigkeit der OC von N, n, c

(Qualitative Merkmale)

"Ausschuß" höchstens c = 2 falsche Antworten zu erhalten. Die gestrichelte Kurve durch die Endpunkte der c-Ordinaten zeigt den Verlauf der Funktion $L(p') = L(p'; 5,2)$, die in der zweiten Zeile noch gesondert dargestellt worden ist. Die Kurve $L(p')$ heißt die Operations-Charakteristik (OC) oder Kennlinie des Prüfplanes (n;c). Ihre korrekte Berechnung muß über die hypergeometrische Verteilung erfolgen, wenn nicht die Voraussetzung $n \ll N$ erfüllt ist. Ihr Verlauf hängt dann von den drei Parametern N, n und c ab, wie man aus Abb. 5 erkennt, wo jeweils zwei Größen konstant gehalten, die dritte aber variiert worden ist.

In der nachstehenden Tabelle sind einige $L(p')$ - Werte für die Prüfpläne (5;0), (5;1), (5;2) und (5;3) wiedergegeben.

p´	L (p´) für (5;0)	(5;1)	(5;2)	(5;3)
0,05	0,774	0,977	0,999	0,9999
0,10	0,591	0,919	0,991	0,9995
0,20	0,328	0,737	0,942	0,9933
0,30	0,168	0,528	0,837	0,9692
0,40	0,078	0,337	0,683	0,9130
0,50	0,031	0,188	0,500	0,8125
0,60	0,010	0,087	0,317	0,6630
0,70	0,002	0,031	0,163	0,4718
0,80	0,000	0,007	0,058	0,2627
0,90	0,000	0,001	0,009	0,0815

Diese Zahlen besagen, daß ein Schüler, der 10 % seiner Vokabeln nicht beherrscht, nur rund 60 % der Prüfungen nach (5;0), aber 99 % der Prüfungen nach (5;2) bestehen würde. Andererseits würden nicht ausreichende Leistungen (p´= 0,5) nach dem Prüfplan (5;2) in 50 %, nach dem Plan (5;3) sogar in rd. 81 % aller Prüfungen nicht erkannt werden.

5. Schüler - und Lehrer-Risiko

Aus dem Verlauf der Operationscharakteristik L(p´; n, c) können wir die Auswirkungen eines bestimmten Prüfplanes auf die Beurteilung des Lernerfolges ablesen und auch die eigentümlichen Unterschiede zwischen totaler und Stichprobenprüfung klar stellen.

Hat man sich einmal über die anzuwendende Bewertungsskala geeinigt, dann kann bei einer totalen Prüfung L(p´) nur die Werte 1 oder 0 annehmen. Wir haben dann stets nur zwei, eindeutig unterscheidbare Bereiche I und II (Abb. 6). Im Bereich I werden die Prüfungen mit Sicherheit bestanden, im Bereich II ebenso sicher nicht. In unserem Beispiel wurden maximal 10 ungespeicherte oder falsche Informationen im Gesamtrepertoire zugelassen.

Bei Stichprobenprüfungen dagegen ist eine absolut sichere Entscheidung über Annahme oder Ablehnung nur in den beiden Fällen p´= 0 und p´= 1 möglich, d.h. bei 100%iger Kenntnis bzw.

Unkenntnis des Repertoires. Für alle übrigen p´-Werte können wir die Entscheidung nicht mehr mit absoluter Sicherheit, sondern nur noch mit einer größeren oder kleineren Wahrscheinlichkeit treffen. Diese statistische Sicherheit unserer Entscheidungen messen wir durch den Anteil L(p´) der bestandenen Prüfungen. (Abb. 7)

An der OC des Prüfplanes (3;1) der Abb. 7 sind drei Bereiche unterschieden. Setzt man den Anteil 1 - L(p´) der "Ablehnungen", d.h. der nicht ausreichenden Prüfergebnisse gleich M(p´), so

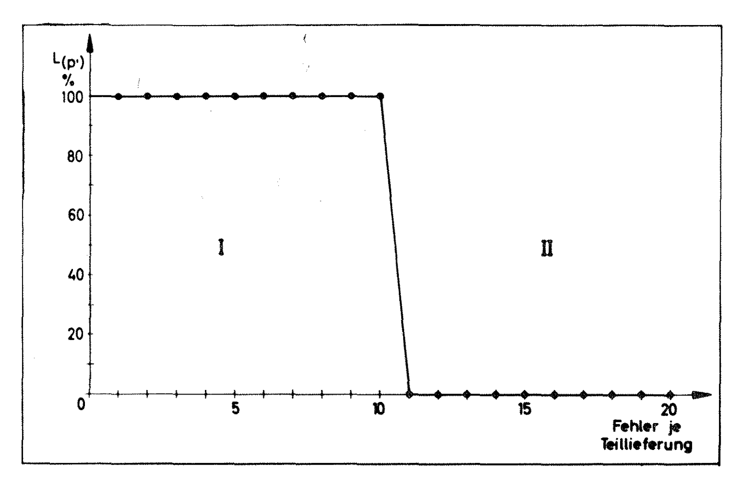


Bild 6: Stichprobenprüfung: OC (Qualitative Merkmale) nach Strauch

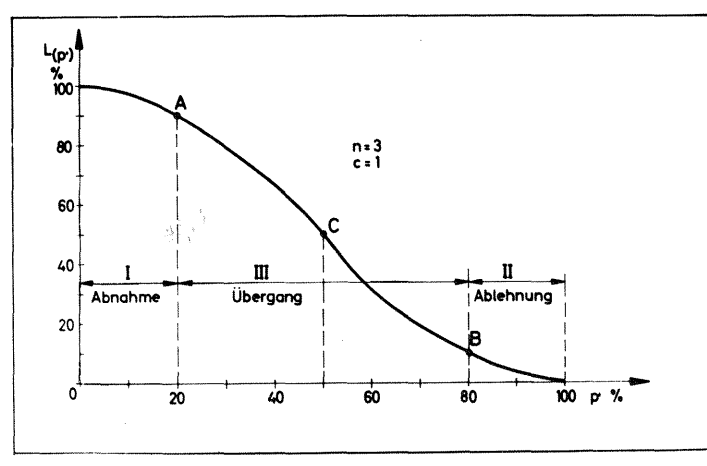


Bild 7: Stichprobenprüfung: OC (Qualitative Merkmale) nach Strauch

kann man die drei Bereiche mit Hilfe des Quotienten L/M charakterisieren; es wird

$L/M \gg 1$ im Bereich I mit überwiegender Annahme

$L/M \approx 1$ im Bereich III mit unsicherer Entscheidung und

$L/M \ll 1$ im Bereich II mit überwiegender Ablehnung.

Die Ausdehnung der drei Bereiche hängt vom Prüfplan (n;c) und der an sich willkürlichen Festsetzung ab, von wann ab man L(p´) oder M(p´) als überwiegend betrachtet. In unserem Beispiel (Abb. 7) reicht I von p´= 0 bis p´= 0,2 mit L(0,2) = 0,9, der Bereich II von p´= 0,8 bis p´= 1 mit L(0,8)= o,1 oder M(0,8) = 0,9. Dazwischen schiebt sich der Bereich III. Je steiler die OC verläuft, um so schmaler wird der Bereich III, um so enger rücken I und II zusammen. In unserem Beispiel werden also mit der Forderung, daß von 3 Fragen höchstens 1 falsch beantwortet werden darf, Repertoires mit 20 % nicht gespeicherten Informationen "überwiegend" (in 90 % aller Prüfungen) angenommen, dagegen Repertoires mit mindestens 80 % falschen Informationen überwiegend abgelehnt.

Im ersten Fall werden wir jedoch in 10 % der Prüfungen einen Fehler 1. Art begehen, d.h. eine durchaus ausreichende Leistung (p´= 0,2) irrtümlich zurückweisen. Wir wollen in diesem Fall auch sagen: das S c h ü l e r - R i s i k o betrage bei Prüfung nach (3;1) für p´= 0,2 10 %. Andererseits werden nach demselben Prüfplan noch 10 % völlig ungenügender Leistungen (p´= 0,8) irrtümlich angenommen, also ein Fehler 2. Art begangen. Wir sprechen dann von einem L e h r e r - R i s i k o, das in unserem Beispiel also ebenfalls 10 % beträgt.

Umfaßt das Repertoire nur N = 10 oder 20 Informationen, müssen wir L(p´) mit Hilfe der hypergeometrischen Verteilung berechnen. Für N = 10 und den Prüfplan (3;2) erhält man

Z	L(p´) = L(Z/N)
1	1
2	1
3	0,993
5	0,916
6	0,835
8	0,53
9	0,3

6. Mehrfache Stichproben

In der Praxis verfährt man nun häufig anders. So werden z. B. dem Schüler nicht von vornherein drei, sondern zunächst nur eine Frage vorgelegt. Beantwortet er diese richtig, wird die Prüfung abgebrochen. Nur bei falscher Antwort wird eine weitere Frage gestellt. Erst wenn er eine dritte Frage falsch oder nicht beantwortet hat, gilt die Prüfung als nicht ausreichend. Hier liegt ein anderer Prüfplan als in unserem letzten Beispiel vor und wir erhalten dementsprechend auch eine andere OC. Auf ihre Berechnung sei hier nicht weiter eingegangen, sondern lediglich ohne Beweis die Formel für $L(p') = L(Z/N)$ für den Fall einer Dreifach-Prüfung mitgeteilt:

$$L(Z/N) = 1 - \frac{Z}{N} \cdot \frac{Z-1}{N-1} \cdot \frac{Z-2}{N-2}$$

Für N = 10 erhält man:

Z	L(p´) = L(Z/N)
0	1
1	1
2	1
3	0,99
4	0,967
5	0,917
6	0,833
7	0,71
8	0,54
9	0,3
10	0

Bei dieser Mehrfachprüfung ist selbst für nicht ausreichende Leistung (Z = 6) das Schüler-Risiko noch relativ klein (ca. 17 %), das Lehrer-Risiko aber auch für völlig ungenügende Leistungen (Z = 9) noch relativ groß (30 %).

7. Folgetest

Bei einfachen Stichproben haben wir von vornherein einen festen Stichprobenumfang n festgelegt und erzwingen auch für den Bereich großer Irrtumswahrscheinlichkeiten durch die Prüfvorschrift in allen Fällen eine Entscheidung. Bei Mehrfachprüfungen liegt der Gesamtumfang der Stichproben ebenfalls fest, die Entscheidung wird nur bis zur 2. oder 3. usw. Stichprobe hinausgeschoben.

Die konsequente Weiterentwicklung dieses Gedankenganges führt schließlich zum Folgetest (Wald-1944, 1947), bei dem der Stichprobenumfang n nicht von vornherein festliegt, sondern selbst eine Zufallsvariable ist. Man zieht beim Waldschen Folgetest aus der Gesamtheit fortlaufend einzelne Elemente, d.h. man stellt solange Fragen, bis die Anzahl z der falschen Antworten entweder eine bestimmte Grenze übersteigt oder unter einer anderen Grenze bleibt. Abb. 8 zeigt den Zufallsweg eines solchen Tests. Bei richtiger Antwort rückt man um eine Stelle nach rechts, bei falscher Antwort gleichzeitig um eine Stelle nach oben. Befinden sich unter n Antworten z falsche, so wird

für $z < s.n - h_1$ die Prüfung als bestanden abgebrochen

für $z > s.n + h_2$ die Prüfung als nicht-bestanden abgebrochen,

für $s.n - h_1 < z < s.n + h_2$ weitergeprüft.

Wegen der Bestimmung von $s. h_1$ und h_2 sei hier auf die Literatur verwiesen (M. Fisz 1958).

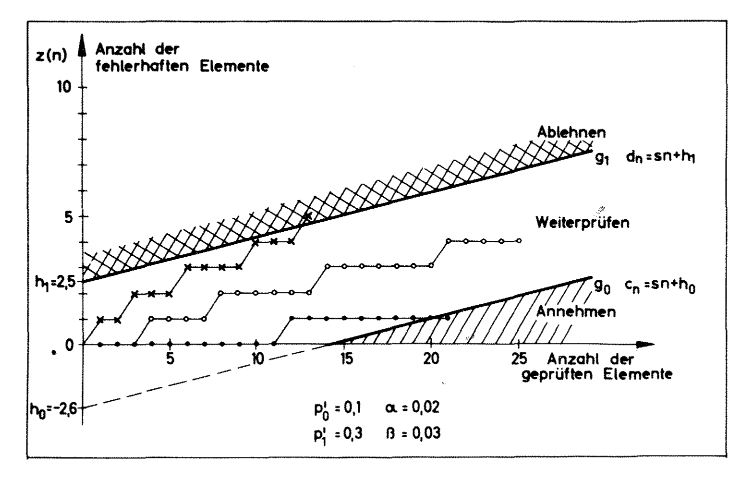


Bild 8: Folgetest: Zufallsweg

Diese sukzessive Prüfung läßt eindeutig "gute" oder "schlechte" Leistungen schneller erkennen als einfache oder mehrfache Stichprobenprüfnngen. Nur bei zweifelhafter mittlerer Leistung muß man länger prüfen. Das Verfahren läßt sich übrigens auch bei der Prüfung quantitativer Merkmale (Messungen) mit vorgegebenen statistischen Sicherheiten (Risiken) leicht durchführen. Der Folgetest bietet sich insbesondere beim Prüfen von Lehrprogrammen immer dann an, wenn keine simultane, sondern nur sukzessive Prüfungen mit verschiedenen Adressaten möglich sind. Diese Situation liegt vor, wenn nur ein einziger oder sehr wenige Lehrautomaten verfügbar sind. Da beim Folgetest der Prüfumfang n nicht von vornherein festliegt, vermeidet man bei vorgegebener statistischer Sicherheit überflüssige Prüfungen, hält n also möglichst klein.

Schrifttumsverzeichnis:

M. Fisz: Wahrscheinlichkeitsrechnung und Mathematische Statistik, Berlin 1958

A. Wald: Ann. of Math. Statistics 15 (1944), S. 283

A. Wald: Sequential analysis, New York 1947

Eingegangen am 16. Juli 1964

ÜBER DEN NICHTNEGATIVEN ERWARTUNGSWERT VON $i_{sub}(z_k) - i(z_k)$

von Helmar Frank (Waiblingen), Berlin

§ 1. zum Begriff

Beim axiomatischen Aufbau der Wahrscheinlichkeitstheorie, wie er vor allem von Kolmogoroff (1933) vertreten wird, ist die Wahrscheinlichkeit $p(z_k)$ oder kurz p_k eine nichtnegative Zahl, welche einem Ereignis(Zeichen) z_k eines Repertoires paarweise disjunkter und zusammen alle (in einer gegebenen Situation bestehenden) Möglichkeiten abdeckender Ereignisse in der Weise zugeordnet ist, daß die Summe der Wahrscheinlichkeiten aller Ereignisse dieses Repertoires gleich eins ist. Die Menge der Paare $(z_k; p(z_k))$ über einem gegebenen Repertoire ist das "Feld" Z. Hieran schließt sich (in Einklang mit der NTG-Empfehlung 0102, 1963) die Definition der Information an: in einer durch das Feld Z beschriebenen Situation enthält z_k die Information

(1) $$i(z_k) = \mathrm{ld}\ ^1/p(z_k) \quad .$$

Die axiomatische Einführung der Wahrscheinlichkeit vermeidet die bekannten Schwierigkeiten einer empirischen Einführung, läßt jedoch (ähnlich wie die Hilbertsche Axiomatik der Geometrie) die Frage der Interpretation offen. Auf diese werden also die Schwierigkeiten einer präzisen Begriffsbestimmung verlagert. Uns interessieren zwei Interpretationen der Wahrscheinlichkeit.

1. Die objektive Wahrscheinlichkeit

Sie soll die relative Häufigkeit bezeichnen, mit welcher in einer genügend großen Stichprobe bzw. bei genügend häufiger Wiederholung des Versuchs "gerechnet werden darf." Wir schreiben $p_{obj}(z_k)$ bzw. kürzer $p(z_k)$, oder - wo über das Bezugsfeld Z keine Mißverständnisse möglich sind - einfach z_k.

2. Die subjektive Wahrscheinlichkeit

Sie bezieht sich stets auf einen bestimmten Beobachter von Ereignissen bzw. auf einen Empfänger von Zeichen und nicht auf die Ereignisse und Zeichen allein. Wir halten drei An-

sätze zur Deutung der subjektiven Wahrscheinlichkeit $p_{sub}(z_k) = w(z_k)$ oder kurz w_k für vertretbar:

2.1 Die (augenblickliche) subjektive Wahrscheinlichkeit von z_k für den Empfänger (Beobachter) E ist gleich der objektiven Wahrscheinlichkeit von z_k in dem Felde, an welches E augenblicklich "gewöhnt" ist.

2.2 Die (augenblickliche) subjektive Wahrscheinlichkeit von z_k für E ist $2^{c \cdot t_k}$, wobei t_k die zur Aufnahme von z_k in das Nachrichtenverarbeitungszentrum (den "Kurzspeicher") von E zum betreffenden Zeitpunkt erforderliche Zeit bezeichnet und der Faktor c so bestimmt wird, daß die Summe der subjektiven Wahrscheinlichkeiten im ("subjektiven") Felde Z_{sub} zu diesem Zeitpunkt gleich eins ist.

2.3 Die (augenblickliche) subjektive Wahrscheinlichkeit von z_k für E ist $u^{-L(z_i)}$, wobei $L(z_i)$ die Länge des in E - vor Aufnahme von z_k in das Nachrichtenverarbeitungszentrum von E - zur Verschlüsselung von z_k verwendeten Codeworts, und u die Zahl der verschiedenen verfügbaren Codeelemente (also Verzweigungen des Codebaums) bezeichnet. (Dabei ist vorausgesetzt, daß der verwendete Codebaum an jedem Verzweigungspunkt u Zweige besitzt.)

Nach einer informationspsychologischen Theorie (Frank, 1962 a) stimmen diese drei Definitionen beim menschlichen Empfänger überein.

Wir sprechen von objektiver Information $i_{obj}(z_k)$ oder kürzer $i(z_k)$ und von subjektiver Information $i_{sub}(z_k)$, je nachdem, ob in Gleichung (1) die subjektive oder die objektive Wahrscheinlichkeit eingesetzt wurde. Beide Größen sind natürlich Zufallsgrößen; ihre Erwartungswerte (theoretischen Mittelwerte) sind

(2) $$H = H(Z) = \sum_k p_k \cdot \mathrm{ld}\,\frac{1}{p_k}$$ (sogenannte "Unsicherheit")

und

(3) $$H_{sub} = H_{sub}(Z) = \sum_k p_k \cdot \mathrm{ld}\,\frac{1}{w_k}$$

Es gilt nun der Satz, daß

(4) $$H_{sub}(Z) > H(Z)$$

also der Erwartungswert der Informationsdifferenz (nicht schon die Differenz aller Einzelinformationen!)

(4a) $$\sum_k p_k \cdot (i_{sub}(z_k) - i(z_k)) > 0$$

ist, sofern mindestens ein $p_k \neq w_k$.

§ 2. Beweis mit der Jensenschen Ungleichung

Der Beweis der Ungleichung (4) durch eine übliche Extremwertbestimmung (partielle Differentiation nach den w_k, Nebenbedingung $\sum_k w_k = 1$; vgl. Frank, 1962 a, S. 29) ist unschön, da das Ergebnis, $w_k = p_k$ für alle k, zunächst nur als notwendiges, nicht als hinreichendes Minimumkriterium für $H_{sub}(Z)$ erscheint. Wegen der grundsätzlichen Bedeutung der Ungleichung sei hier ein sehr viel einfacherer Beweis (Frank, 1962 b) mit der auch sonst in der Informationstheorie nützlichen (z. B. Jaglom, 1960) Jensenschen Ungleichung angegeben. Diese besagt:

Ist f (x) im Intervall $\langle a, b \rangle$ von oben konvex (d. h. anschaulich, liegt dort jedes Bogenstück über der zugehörigen Sehne), liegen zweitens die u Argumentwerte x_k, unter denen mindestens zwei verschiedene sind, in $\langle a, b \rangle$, und erfüllen schließlich die u nichtnegativen Faktoren p_k die Bedingung, einzeln kleiner als eins und in der Summe gleich eins zu sein, dann gilt:

(5) $$\sum_{k=1}^{u} p_k \cdot f(x_k) < f\left(\sum_{k=1}^{u} p_k \cdot x_k\right).$$

Der Beweis ist durch vollständige Induktion über u leicht zu führen. Einen anderen Beweis findet man bei Jaglom (1960).

Nun ist ld x_k in $\langle \varepsilon, K \rangle$ bei beliebig kleiner unterer Schranke $\varepsilon > 0$ und beliebig grosser oberer Schranke K von oben konvex. Wir setzen $x_k = \frac{w_k}{p_k}$. Da nicht alle $w_k = p_k$ sind und da die Summe der w_k wie der p_k gleich eins ist, sind nicht alle x_k identisch. Sind ferner alle w_k und p_k positiv, dann gilt nach Ungleichung (5) mit Gleichung (2) und (3)

$$H(Z) - H_{sub}(Z) = \sum_k p_k \cdot \mathrm{ld}\,\frac{w_k}{p_k} < \mathrm{ld}\left(\sum_k p_k \cdot \frac{w_k}{p_k}\right) = \mathrm{ld}\,1 = 0,$$

womit für diesen Normalfall die Ungleichung (4) bewiesen ist. Strebt für ein $p_k > 0$ das zugehörige w_k gegen Null (Fall des "vermeintlichen Wunders"), dann strebt $H_{sub}(Z)$ gegen Unendlich so daß auch in diesem Entartungsfall die Ungleichung gilt.

Sie gilt aber endlich auch umgekehrt, wenn gewisse Ereignisse die objektive aber nicht subjektive Wahrscheinlichkeit Null haben (Fall des "Aberglaubens"). Denn dann ist die Summe der subjektiven Wahrscheinlichkeiten für alle Indizes k' mit $p_{k'} > 0$ kleiner als eins, also durch Multiplikation mit einem Faktor $c < 1$ aus einer echten Wahrscheinlichkeitsverteilung $w_{k'}$ über diese Möglichkeiten zu erzeugen. Hierfür gilt dann nach (4)

$$\overline{H}_{sub} > \overline{H}.$$

Nun ist aber nach (3)

$$H_{sub} = \overline{H}_{sub} + \sum_{k'} p_{k'} \cdot \mathrm{ld}\,\frac{1}{c} > \overline{H}_{sub} > \overline{H},$$

und wegen

$$\lim_{x \to 0} x \cdot \mathrm{ld}\,\frac{1}{x} = 0, \quad \overline{H} = H.$$

§ 3 Konsequenzen

Daß die besondere Vertrautheit mit bestimmten Dingen (Zeichen, Ereignissen) aufgrund besonderer Übung (also Verfälschung der Wahrscheinlichkeitsverteilung in der Umwelt) d.h. ihre geringere subjektive als objektive Wahrscheinlichkeit, eine Informationsverringerung bewirkt (kürzere Apperzeptions- und Reaktionszeiten) steht durchaus im Einklang mit Ungleichung (4a) - jedoch wird dieser Gewinn aus mathematischen Gründen immer überkompensiert durch eine Informationsvergrößerung (höhere Apperzeptions- und Reaktionszeiten) bei anderen Dingen. Daher ist die sogenannte informationelle Akkomodation, d.h. die Angleichung $w_k \to p_k$, ein Gebot der Ökonomie. Innerhalb der Pädagogik ergeben sich aus diesem Sachverhalt drei spezielle Folgerungen:

3.1 Wenn sich die bisherigen Beobachtungen (Frank, 1962a) bestätigen, nach denen die Geschwindigkeit der informationellen Akkomodation bei verschiedenen Schülern verschieden ist, und wenn durch eine Umordnung der Schulstunden in der Art, daß der Wechsel aufeinanderfolgender Fachstunden statt alle 50 Minuten beispielsweise erst täglich erfolgt, außer dem Verlauf der informationellen Akkomodation keine andere Größe beeinflußt wird, dann wird die insgesamt zu verar-

beitende subjektive Information durch eine solche Maßnahme desto stärker reduziert, je geringer die Geschwindigkeit der informationellen Akkomodation ist.

3.2 Wenn sich die bisherigen Beobachtungen (Hermenau, 1960, S. 44 - 45; dessen quantitative Angaben können auf dem Umweg über die Beziehung 6 bei Bürmann, Frank und Lorenz, 1963 - dort druckfehlerbehaftet! -, nämlich

$$p_r = \text{const} \cdot \left(r + 1 - \frac{1}{1-z} \right)^{-\frac{1}{T}},$$

entsprechend ausgewertet werden!) bestätigen, wonach die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Wörter in fremdsprachlichen Schulbuchtexten erheblich abweicht von der Wahrscheinlichkeitsverteilung derselben Wörter in der gesprochenen Fremdsprache (so daß notwendig dasselbe auch für die bedingten Wahrscheinlichkeiten gilt), dann erklärt sich wegen Beziehung (4) schon aus dieser Tatsache, selbst wenn kein anderer Grund stichhaltig sein sollte, die Beobachtung, daß die beim fremdsprachlichen Sprecher gehörte natürliche Sprache als zu informationsreich, also zu schnell gesprochen, empfunden wird. Übrigens ist irrelevant, ob die Abweichung der Häufigkeitsverteilung im Schulbuch von der für die lebende Sprache gültigen Verteilung im Sinne einer Erhöhung oder Erniedrigung der Texttemperatur T vorliegt, oder ob gar die oben angegebene, auf Mandelbrot zurückgehende kanonische Rang-Häufigkeits-Beziehung im Schulbuch verletzt ist.

3.3 Wenn allgemein durch Auswahl von Schulstoffen eine Schulumgebung mit einer von den Erfordernissen des wirklichen Lebens abweichenden Wahrscheinlichkeitsverteilung erzeugt wird (z. B. durch häufigere oder seltenere Verwendung lateinischer Wörter als diese im späteren Leben zu erwarten sind), dann bedarf die nach Ungleichung (4) damit zunächst bewirkte Erhöhung der mittleren subjektiven Information in der außerschulischen Erfahrungswelt einer besonderen Rechtfertigung.

Schrifttumsverzeichnis:

Bürmann, Günter, Frank, Helmar und Lorenz, Lothar: Informationstheoretische Untersuchungen über Rang und Länge deutscher Wörter
GrKG 4, Heft 3/4, 1963, S. 73 - 90

Frank, Helmar	Kybernetische Grundlagen der Pädagogik. Eine Einführung in die Informationspsychologie. Agis-Verlag, Baden-Baden, und Gauthier-Villars Paris, 1962a, 175 S.
Frank, Helmar	Quelques résultats théoriques et empiriques concernant l'accomodation informationelle. IRE-Transactions on Information Theory, Bd. IT-8, Nr. 5, S. 150 - 154, 1962 b
Hermenau, Otto:	Wortschatzminimum für den Russischunterricht Volk und Wissen, Berlin 1960
Jaglom, A.M. und I.M.:	Wahrscheinlichkeit und Information (russisch: 1957) VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1960, 189 S.
Kolmogoroff, G.N.:	Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeitsrechnung. Berlin, 1933 (zitiert nach B.W. Gnedenko, Lehrbuch der Wahrscheinlichkeitsrechnung, 3. Aufl., Akademie-Verlag, Berlin 1962.)
NTG-Empfehlung 0102	Nachrichtentechnische Zeitschrift Heft 1, 1963, S. 46 ff.

Eingegangen am 22. Juli 1964

ÜBER DEN ZUSAMMENHANG VON "REPERTOIRE" UND "SUPERZEICHEN"

von Karl E c k e l, Altenstadt

Der folgende Beitrag stellt eine Anmerkung zur v. Cube'schen "Theorie der mechanischen Didaktik" (1961) dar. Zunächst sei diese Arbeit kurz referiert.

1) R e f e r a t

Es wird ein Text - bestehend aus den (Elementar-) Zeichen -

$$e_1, e_2, e_3, \ldots, e_m \tag{1}$$

betrachtet. Seine subjektive Information beträgt

$$I^{(1)} = m \text{ ld } m \text{ bit.} \tag{2}$$

Der Text (1) wird in q Wörter zu je p Buchstaben eingeteilt, derart, daß

$$q > 1$$

und

$$q \cdot p = m.$$

v. Cube behauptet nun erstens, daß für das Erlernen der q Wörter ein subjektiver Informationsbeitrag von

$$I_1 = q \cdot p \cdot \text{ld } p \text{ bit} \tag{3}$$

und weiter für das Zusammenfassen der Wörter in der gegebenen Reihenfolge zum Text

$$I_2 = q \cdot \text{ld } q \text{ bit}$$

benötigt würden.

Demnach - so schließt v. Cube weiter - wird durch dieses Verfahren die Information des Textes (1)

$$I^{(2)} = I_1 + I_2$$
$$= (q\, p \text{ ld } p + q \text{ ld } q) \text{ bit.}$$

Sodann wird die notwendige Bedingung für das Minimum der Funktion

$$I^{(2)} = I^{(2)}(m, p)$$

zu

$$\text{ld } p = \text{ld } m - \frac{p - 1}{\ln 2}$$

bestimmt und hieraus Folgerungen für die optimale Wortbildung hinsichtlich der Wortlänge abgeleitet.

2) Kritik

Voraussetzungen:

a) Wegen (2) darf man annehmen, daß es sich bei (1) um lauter verschiedene (gleichwahrscheinliche) Elementarzeichen e_i handelt. Der Umfang des Repertoire der Elementarzeichen ist somit

$$R_e = m.$$

b) Die Information I_1 in (3) ist wohl so zu verstehen (vergl. auch: Gunzenhäuser, 1963), daß der auf ein Superzeichen der Länge p entfallende Informationsanteil

$$I = p \text{ ld } p \text{ bit} \quad (4)$$

beträgt. Für sämtliche q Superzeichen also

$$I_1 = q\, p \text{ ld } p \text{ bit.}$$

Folgerungen:

Die Beziehung (4) ist m.E. unzutreffend; denn der Umfang des Repertoire der aus (1) gebildeten Superzeichen S_i ($i = 1, 2, 3, \ldots, q$) der Länge p beträgt

$$R_S = m^p.$$

(Aus m Elementarzeichen kann man m^p Superzeichen der Länge p bilden.) Also beträgt die Information pro Superzeichen

$$I = \text{ld } m^p = p \text{ ld } m$$

und nicht p ld p. Damit werden natürlich auch die eingangs erwähnten weiteren Folgerungen anfechtbar.

Ergänzungen:

a) Was wir an v. Cubes Arbeit für unzulässig halten, ist die Gleichsetzung des Superzeichenrepertoire R_S mit der Anzahl der in einem Superzeichen enthaltenen Elementarzeichen. - Dazu ein Beispiel:

Wir betrachten die Ziffernfolge 1243, teilen sie ein in 12 und 43. m=4, p=2 u. q=2. Nach v. Cube beträgt die Information, die ich beim Lernen der Folge 12 erhalte

$$p \text{ ld } p = 2 \text{ ld } 2 = 2.$$

Das Superzeichen 12 wird dabei über das Repertoire der Elementarzeichen 1 und 2 gelernt. Hier setzt unsere Kritik ein: Wenn nur zwei Elementarzeichen in Betracht kämen, d.h. m = 2 wäre, dann wäre das richtig. In unserem Falle ist aber m = 4. Wir müssen also beim Lernen der Folge 12 $(2 \cdot \text{ld } 4)$ bit = 4 Ja/Nein - Entscheidungen treffen, wenn wir 1 und 2 identifizieren wollen. Be-

geben wir uns ins Repertoire der Superzeichen, dann müssen wir unter $4^2 = 16$ Superzeichen

11 12 13 14

21 22 23 24

31 32 33 34

41 42 43 44

eines auswählen. Also beträgt die zugehörige Information ebenfalls

$$1 \cdot \text{ld } 16 \text{ bit} = 4 \text{ bit} .$$

b) Sind die relativen Häufigkeiten eines vorgegebenen Repertoires gleich, dann gewinne ich mit Hilfe des Begriffes Superzeichen nichts (allenfalls kann ich denBegriff so einführen), denn

$$m \text{ ld } m = pq \text{ ld } m = q \text{ ld } m^p.$$

Ob ich also einen Text auf dem Wege über das Repertoire der Einzelzeichen oder über das von Superzeichen lerne, ist gleichgültig. Aus (A) dem Informationsbegriff und (B) dem Zeichenbegriff lassen sich ohne spezielle Annahmen keine speziellen Aussagen ableiten. (Hiervon zu unterscheiden ist natürlich das Lernen auf einem bereits beherrschten oder gelernten Superzeichenrepertoire.)

c) Dies wird sich meiner Meinung nach ändern, wenn man die Subjektivität des Begriffes des Reperotire in den Griff bekommt, was auf die informationstheoretische Fassung der (optimalen) Lernkonzentration (Erzwingen eines bestimmten Repertoires) hinauslaufen dürfte. Aber darüber macht die "Theorie der mechanischen Didaktik" keine Aussage.

Schrifttumsverzeichnis:

Gunzenhäuser, Rul: "Informationstheoretische Grundlagen zukünftiger Lehrmaschinen", in Frank, H. (Hrsg.): Lehrmaschinen in kybernetischer und pädagogischer Sicht, Klett und Oldenbourg, Stuttgart und München, 1963

von Cube, Felix: "Über ein Verfahren der mechanischen Didaktik", in GrKG 2/1, 1961, S. 7-10

Eingegangen am 24. Juni 1964

BEDEUTUNG SPRACHLICHER BEGRIFFE

von Hardi Fischer, Zürich

In einem kleinen Forschungsteam in Zürich haben wir uns bemüht, Fragen der semantischen Bedeutung von Begriffen zu klären. Vorgängig stellten wir mit "semantic differential" Osgoods Versuche an, die uns erlaubten, gewisse korrelative Hinweise über den Zusammenhang sprachlicher Begriffe zu erhalten. Die von Osgood verwendete Methode der Faktorenanalyse setzt nun allerdings voraus, daß der semantische Raum einen Ursprung besitze, dessen Erklärung zunächst nicht gegeben ist. Ebensowenig ist die n-dimensionale Orthogonalität erwiesen. Sie ist vielmehr Ausdruck einer alleinigen mathematischen Methode. Gibt es einen Begriff "Null" und welcher Begriff ist es? Diese offene Frage erinnert uns an die atomistische, semantische Theorie Carnaps. Welches sind seine Atomsätze wirklich? Sind sie identisch mit den der Wirklichkeit direkt entnommenen Aussagen, von denen Wittgenstein spricht?

Beide Thesen scheinen uns verfehlt und beide sind bis heute letzten Endes unbewiesen geblieben. Zudem dürften im Bereiche der Psycholinguistik die korrelativen Zusammenhänge zur Erklärung von Bedeutungen kaum genügen. Natürlich wäre es ideal, die Begriffe in ihrem jeweiligen sprachlichen Kontext zu untersuchen, doch ist dies ein fast unmögliches Unterfangen. Wir bemühen uns deshalb in erster Annäherung um eine operatorische Analyse sprachlicher Begriffe. Als einen der möglichen Ausgangspunkte wählten wir, in Anlehnung an Osgoods Arbeiten und um seine Ergebnisse mit den unsrigen zu vergleichen, die Umschreibung von Substantiven durch Adjektive, wobei wir uns vorläufig auf gegensätzliche Eigenschaftswörter beschränkten.

Ziel unserer Forschungen soll die Veränderung der operatorischen Struktur der Begriffe bei Jugendlichen und jungen Erwachsenen sein. Ferner erhoffen wir uns eine mögliche Klassifikation sprachlicher Begriffe durch Herausschälen von Ähnlichkeiten und von Gegensätzen.

Ich möchte heute einige wenige Resultate mitteilen, mehr als Illustration und nicht als etwas Endgültiges. Aus dem von uns gesammelten reichen Material bei Mittelschü -

lern und Studenten wählten wir unter anderem folgende Eigenschaftsdimensionen:

p	gut	-	schlecht	$\bar{p}$	I
q	hart	-	weich	$\bar{q}$	II
r	aktiv	-	passiv	$\bar{r}$	III
s	stark	-	schwach	$\bar{s}$	II

Nebenbei bemerkt: Die römischen Ziffern geben die Zugehörigkeit zu den Faktoren Osgoods:

I	Bewertung	Varianzanteil: ca.66 %
II	Stärke	Varianzanteil: ca. 16%
III	Aktivität	Varianzanteil: ca. 14%

Wir stellten folgende Art von Fragen (konjunktiv):

Könnte ein Schwamm trocken und weich sein?
Könnte ein Schwamm trocken und hart sein?
Könnte ein Schwamm nass und weich sein?
Könnte ein Schwamm nass und hart sein?

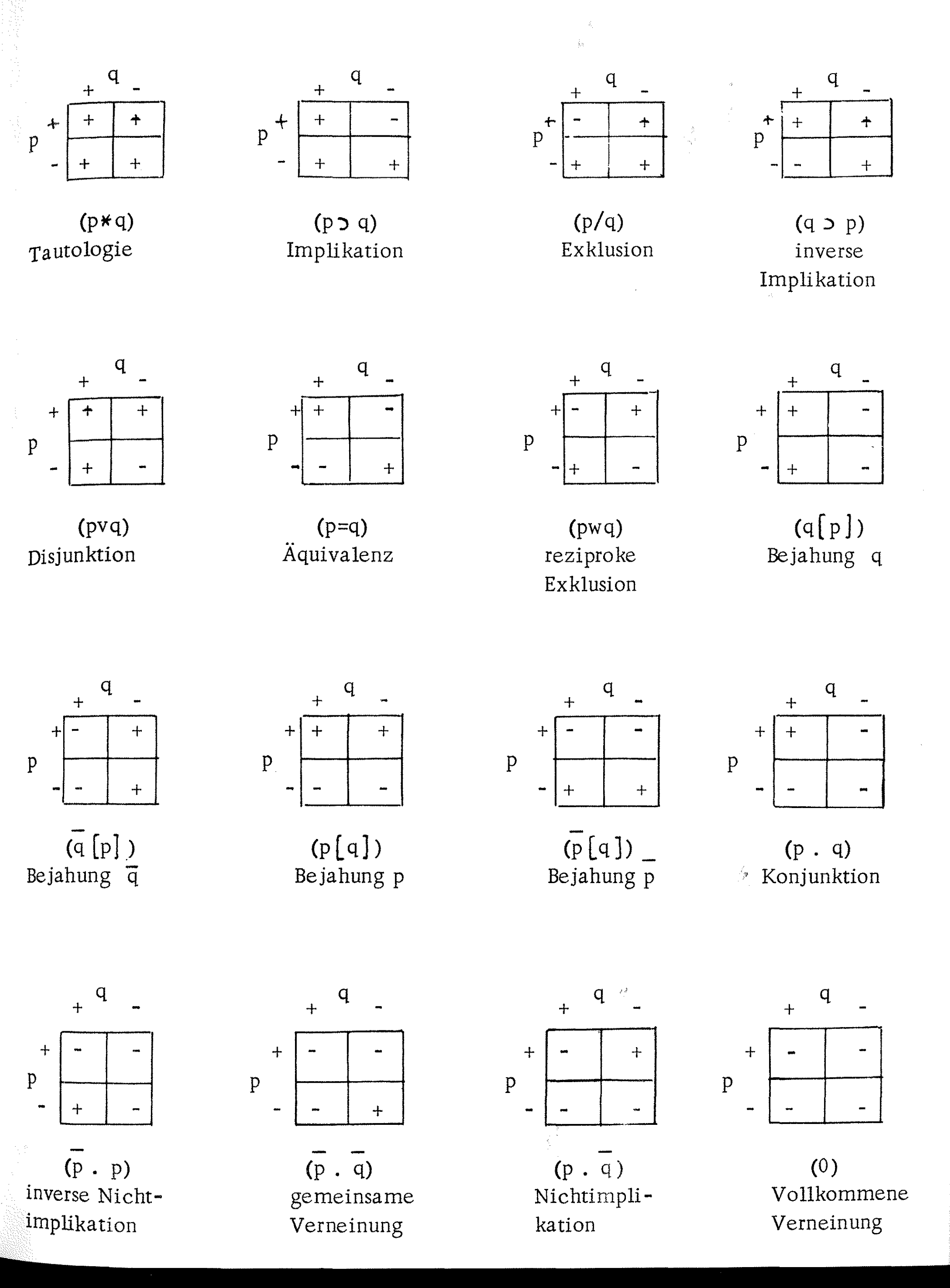
Die Antworten kann man in ein Vierfeldschema zusammenfassen (+ bedeutet Bejahung, - bedeutet Verneinung):

		Dimension y	
		hart	weich
Dimension x	trocken	+	-
	nass	-	+

Dies ergäbe beispielsweise die logische Operation (x = y), Äquivalenz.

Bezeichnen wir die beiden verwendeten Propositionen mit p und mit q, dann gibt es 16 Antwortmöglichkeiten gemäß der Aufstellung in Tafel 1.

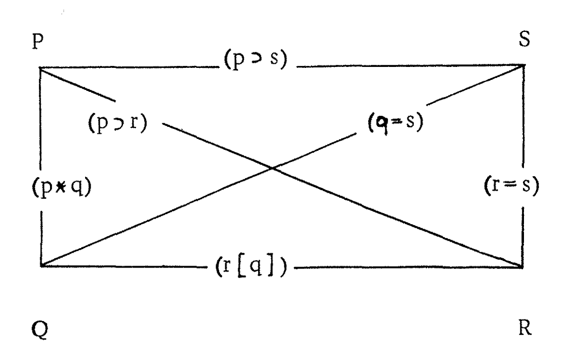
Tafel 1


(p*q)
Tautologie
(p ⊃ q)
Implikation
(p/q)
Exklusion
(q ⊃ p)
inverse Implikation
(pvq)
Disjunktion
(p=q)
Äquivalenz
(pwq)
reziproke Exklusion
(q[p])
Bejahung q
($\bar{q}$ [p])
Bejahung $\bar{q}$
(p[q])
Bejahung p
($\bar{p}$[q])
Bejahung $\bar{p}$
(p . q)
Konjunktion
($\bar{p}$. p)
inverse Nicht-implikation
($\bar{p}$. $\bar{q}$)
gemeinsame Verneinung
(p . $\bar{q}$)
Nichtimplikation
(0)
Vollkommene Verneinung

Die natürlichen oder spontanen Operationen, die uns von den Versuchspersonen gegeben wurden, notieren wir. Für Führung ergab sich beispielsweise:

$$(p * q) \,.\, (p \supset r) \,.\, (p \supset s) \,.\, (r[q]) \,.\, (q = s) \,.\, (r = s)$$

Wir können die Operationen in Analogie zu einem Graphen wie folgt darstellen:



Betrachten wir nun einmal das Dreieck PQR. Die Operationen $(p * q)$ und $(r[q])$ sollten, falls die Situation formal logisch wäre, die dritte Operation $(p \supset r)$ bestimmen. Dies ist aber vielfach nicht der Fall.

Um diese Situation auszutesten, stellen wir die als Tafel 2 wiedergegebene Wahrheitstabelle zusammen, wobei wir drei Funktionen wie folgt unterscheiden:

H_1 (p, q), hier $H_1 = (p * q)$, bekannt

H_2 (q, r), hier $H_2 = (r[q])$, bekannt

H_3 (p, r), unbekannt

T a f e l 2

	p	q	r	H_1	H_2	H_3
1	+	+	+	+	+	+
2	+	+	-	+	-	[-]
3	+	-	+	+	+	+
4	-	+	+	+	+	+
5	+	-	-	+	-	[-]
6	-	+	-	+	-	[-]
7	-	-	+	+	+	+
8	-	-	-	+	-	[-]

Die Kolonne H_3 richtet sich nach den Propositionen p und r. Wir suchen H_3 so, daß die Wahrheitsstellen mit der Konjunktion $H_1 . H_2$ zusammenfallen. Für p und r haben wir je gleichwertige Situationen für folgende Zeilen:

1 und 3
2 und 5
4 und 7
6 und 8

Für die Zeilen 2 und 5, sowie für 6 und 8 bleiben die Bejahung, resp. Verneinung noch offen. Wir haben deshalb folgende Möglichkeiten:

Alle Zeilen bejaht	(p * r)
Alle Zeilen bejaht, außer Zeilen 2 und 5	(p ⊃ r)
Alle Zeilen bejaht, außer Zeilen 6 und 8	(p ∨ r)
Alle Zeilen bejaht, außer Zeilen 2, 5, 6 und 8	(r [p])

Die letzte Möglichkeit (r [p]) ist die Minimalfunktion. Sie entspricht in unserem Beispiel nicht der erhaltenen Spontanfunktion (p ⊃ r). Dagegen figuriert diese Funktion unter den weiteren noch möglichen, formal gefundenen Funktionen (2. Zeile).

Wir haben zwischen drei Möglichkeiten zu unterscheiden:

a) Ganze Abweichungen (spontane und formale Operationen stimmen überhaupt nicht überein)

b) "Halbe" Abweichungen (die spontane Operation stimmt mit einer formalen, nicht aber mit der minimal-formalen Operation überein)

c) Keine Abweichungen (die spontane und die minimal-formale Operation stimmen überein).

Somit sind für jeden Begriff bezüglich der vier Eigenschaftsdimensionen zwölf Untersuchungen - drei für jedes Dreieck - notwendig. Wir fanden:

	Abweichungen		
Begriff	ganze	"halbe"	keine
Autorität	7	4	1
Führung	6	2	4
Leben	4	0	8
Tod	7	4	1
Weiblichkeit	4	1	7
Männlichkeit	6	3	3

Wir sehen, daß der Begriff "Leben" einer formalen logischen Struktur am nächsten kommt. Man kann sich fragen, ob diese Beobachtung mit der Stabilität der Bedeutung des Begriffes zusammenhängt.

Nun wird ja, wie die Graph-Darstellung zeigt, jede Operation zweimal formal bestimmt, weil jede Verbindung zwei Dreiecken angehört, wobei die beiden formal gewonnenen Operationen aber nicht immer identisch sind. Für den Begriff der Autorität fanden wir beispielsweise:

$$(p * q) \; . \; (p * q) = (p * q)$$
$$(r[p]) \; . \; (r[p]) = (r[p])$$
$$(s[p]) \; . \; (p * s) = (s[p])$$
$$(q \vee r) \; . \; (r[q]) = (r[q])$$
$$(q \vee s) \; . \; (q * s) = (q \vee s)$$
$$(r * s) \; . \; (r \, . \, s) = (r \, . \, s)$$

Die beiden Operationen sollten also gleichzeitig existieren können; sie werden logisch multipliziert. Die resultierenden Operationen verhalten sich nun nicht automatisch so, daß die formale Logik für sie praktisch zutrifft.

Eine zweite oder weitere analog geführte Korrekturen werden meist notwendig. Wir

fanden folgende Korrekturzahlen:

Autorität:	3
Führung:	6
Leben:	3
Tod:	5
Weiblichkeit:	3
Männlichkeit:	3

Jetzt hat man eine formal logische Struktur:

Autorität:	(p * q) . (r [p]) . (s [p]) . (r [q]) . (s [q]) . (r . s)
Führung:	(q [p]) . (r [p]) . (s [p]) . (q . r) . (q . s) . (r . s)
Leben:	(p * q) . (p * r) . (p * s) . (q * r) . (q * s) . (r * s)
Tod:	(p . q) . (p . r) . (p . s) . (q . r) . (q . s) . (r . s)
Weiblichkeit:	($\bar{q}$ [p]) . (p * r) . (p * s) . ($\bar{q}$ [r]) . ($\bar{q}$ [s]) . (r * s)
Männlichk.:	(q [p]) . (r [p]) . (s [p]) . (q . r) . (q . s) . (r . s)

Hat man die zum Begriff zugehörige Formalstruktur gefunden, kann man die sechs Operationen ausmultiplizieren. Wir erhielten:

Autorität:	(r . s . (p * q))
Führung:	(q . r . s . [p])
Leben:	(p * q * r * s)
Tod:	(p . q . r . s)
Weiblichkeit:	($\bar{q}$. (r * s) . [p])
Männlichkeit:	(q . r . s.[p])

Wir stellten fest, daß Führung und Männlichkeit dieselbe Kernstruktur aufweisen; ebenso besitzen Leben und Weiblichkeit dieselbe Kernstruktur. Natürlich gelten diese Erkenntnisse nur im Bereiche der vier verwendeten Dimensionen. Wir führten unsere Untersuchung aber mit zehn Dimensionen und mit zwölf Begriffen durch. Wir wollten hier lediglich einen Fingerzeig für eine Klassifikationsmöglichkeit der Begriffe geben.

Für uns stellt sich jetzt die grundsätzliche Frage, ob das sprachlich-begriffliche Denken nicht ein strukturelles und operatorisches Denken sei, in dem im Sinne der beschriebenen Angleiche und Korrekturen momentane Gleichgewichtszustände angestrebt werden, vergleichbar etwa dem Ausgleich in kommunizierenden Röhren. Den Beweis sind wir allerdings vorerst noch schuldig, doch verdichtet sich bei uns die entsprechende Hypothese dazu.

Bestehen zwischen scheinbaren gegensätzlichen Begriffen auch gewisse Gesetzmäßigkeiten? Osgood und wir selbst fanden mit der Methode des "semantic differential" zwischen den Begriffen "Liebe" und "Hass" praktisch keine Korrelation. Ist die Gegensätzlichkeit eher auf inverse, reziproke oder korrelative Operationen zurückzuführen oder müssen wir mit entsprechenden uneinheitlichen Operationen rechnen? Für 45 spontane, nicht formal ausgewogene Operationspaare fanden wir zwischen den beiden Begriffen 3 identische, 5 inverse, 4 reziproke und 1 korrelatives Operationspaar. Wie wird das Ergebnis aussehen, wenn wir mit den korrigierten Operationen vergleichen können? Es wird jedenfalls noch geraume Zeit brauchen, bis wir die Auswertungen der Operationsvergleiche abschließen können, wie sie wahrscheinlich in unserem Kopf in Sekunden bewältigt werden.

(Dieses Forschungsprojekt wurde mit Krediten vom Schweizerischen Nationalfonds für wissenschaftliche Forschung unterstützt.)

Eingegangen am 1. April 1964

ÜBER EINEN ANSATZ ZU EINEM PROBABILISTISCHEN GEDÄCHTNISMODELL

von Helmar Frank (Waiblingen), Berlin

1. Problemstellung

In zwei früheren Arbeiten (Frank, 1961, 1962) war versucht worden, das Fassungsvermögen K_v des vorbewußten Gedächtnisses zu ermitteln. Dabei gingen wir aus von der Zuflußgeschwindigkeit ("Lerngeschwindigkeit") C_v einerseits und andererseits von der in Anlehnung an Förster (1948) erfolgten Beschreibung der Ebbinghausschen Vergessenskurve durch die Differentialgleichung

(1) $$V = \frac{d\,I(t)}{dt} = -k \,.\, I(t) \,.$$

Dabei bezeichnet V die Vergessensgeschwindigkeit, I (t) die zum Zeitpunkt t im Gedächtnis bewahrte Informationsmenge, und k eine Zerfallskonstante, welche angibt, welcher Bruchteil von I (t) pro Zeiteinheit vergessen wird. Da demnach desto mehr vergessen wird, je größer I (t) ist, muß der mit konstanter Geschwindigkeit C_v erfolgende Prozeß des Einlernens in das zunächst leere Gedächtnis zu einem Fließgleichgewicht führen, d.h. es muß für den Gedächtnisinhalt eine unüberschreitbare Größe K existieren, die dadurch ausgezeichnet ist, daß sie nach (1) eine Vergessensgeschwindigkeit bewirkt, welche gerade noch von der Lerngeschwindigkeit kompensiert wird:

(2) $$V = -k \,.\, K = -C_v \;.$$

Da das vorbewußte Gedächtnis demnach nicht mehr Information als K enthalten kann, auch wenn beliebig viel Speicherplatz zur Verfügung stünde, ist es sinnvoll, die durch (2) definierte Größe K als Fassungsvermögen K_v des vorbewußten Gedächtnisses zu bezeichnen. Dabei mußte keinerlei Kausalzusammenhang vom Lernen zum Vergessen postuliert werden. Es liegt jedoch nahe, anzunehmen, es sei überhaupt nicht mehr Speicherplatz vorhanden als zur Bewahrung der Informationsmenge K_v ausreicht. Die Konsequenz dieser Annahme ist die oft angestellte Vermutung, Vergessen sei ein Verdrängtwerden durch neue Gedächtnisinhalte, wofür die beträchtliche Reduktion der Vergessensgeschwindigkeit während des Schlafes spricht. Erfolgt dieses Verdrängen stochastisch,

dann wird theoretisch eine bestimmte Wissensmenge I_o (z.B. eine Menge sinnloser Silben) gerade gemäß der Differentialgleichung (1) vergessen, also nach dem Zerfallsgesetz:

$$(3) \qquad I(t) = I_o \cdot e^{-kt}$$

Da es nur auf das Verhältnis $I(t) : I_o$ ankommt, könnte k (und damit nach Gleichung 2 auch K_v) aus der Ebbinghausschen Vergessenskurve ermittelt werden.

Man kommt jedoch in Übereinstimmung mit dem sogenannten "2. Jostschen Satz" (vgl. z.B. Rohracher, 1960, S. 255) auf verschiedene Werte von k, je nachdem, ob man die empirische Vergessenskurve für kleine oder für große t annähern will (Bild 1). Den ursprünglichen Ansatz von Förster inhaltlich umdeutend hatten wir versucht (Frank, 1961),

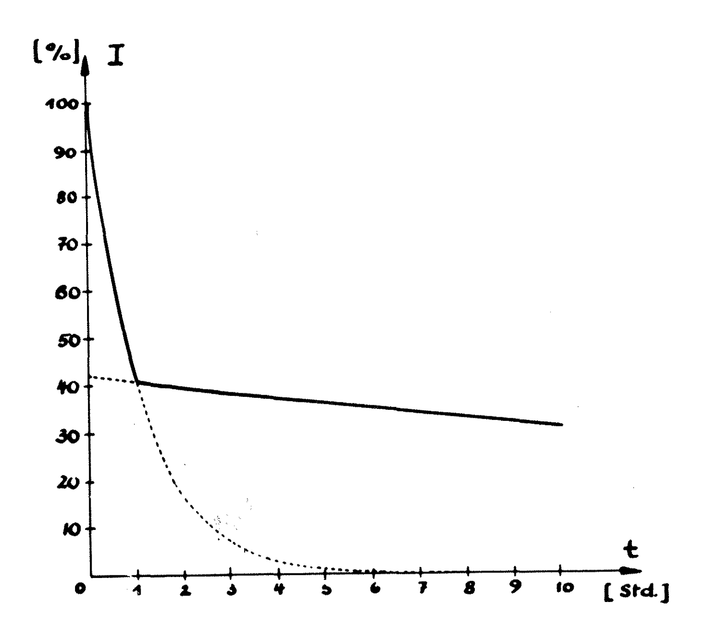


Bild 1

Die Approximation der Ebbinghausschen Vergessenskurve durch eine Zerfallskurve führt an Stellen kleiner t zu einer Zerfallskurve erheblich geringerer Halbwertszeit als an Stellen großer t.

als Begründung hierfür eine Neueinspeicherung anläßlich der Memoration, insbesondere der Perseveration, heranzuziehen, also Gleichung (1) zu ersetzen durch

(1a) $$V = \frac{d\,I(t)}{dt} = -(k - m_i) \cdot I(t),$$

wobei für verschiedene Gedächtnisinhalte verschieden große Memorationskoeffizienten $0 \leq m_i \leq k$ anzusetzen wären.

Damit kommt man nun zwar, wie sich aus der Untersuchung von Förster ergibt, zu einer höchst befriedigenden Approximation der Vergessenskurve durch eine Überlagerung schon sehr weniger Zerfallskurven der Form (1 a) mit m_i als Parameter. Jedoch entzieht sich m_i und damit k einer Messung. Man könnte nur das größte $k - m_i$ als untere Schranke von k ansehen und daraus nach (2) K_v nach oben abschätzen. Insbesondere steckt aber hinter der durch (1 a) versuchten Lösung der Schwierigkeit die introspektiv nicht zu rechtfertigende Voraussetzung, von dem vor langer Zeit Gelernten werde pro Zeiteinheit nur deshalb nicht derselbe Prozentsatz vergessen wie von dem eben Gelernten, weil das seinerzeit Gelernte auch jetzt noch häufiger memoriert wird als die erst vor kurzem eingespeicherte Information. Aufgrund der Perseveration dürfte aber gerade das Umgekehrte zutreffen. Auch der bekannte Effekt des "Überlernens" (vgl. z.B. Rohracher, 1960, S. 249) bleibt vom bisherigen Ansatz her schwer verständlich.

2. Erweiterung des Modells

In der Psychologie ist schon lange eine Unterteilung des vorbewußten Gedächtnisses in ein Kurz- und ein Langgedächtnis üblich, wobei ersteres (das nicht mit dem Kurzspeicher verwechselt werden darf!) eine größere Zuflußkapazität und Vergessensgeschwindigkeit aber wohl ein kleineres Fassungsvermögen hat als letzteres und sich wohl auch durch die Perseveration gegenüber diesem letzteren abhebt. Wir knüpfen an diese Unscheidung die folgende Modellvorstellung.

Das Kurzgedächtnis verfüge über den Speicherplatz K_{vk}. Es vermag mit der Geschwindigkeit $C_{vk} < C_k$ Nachrichten aus dem Kurzspeicher aufzunehmen, wobei zwei Zufallsprozesse zu unterscheiden sind:

(1) Die Auswahl der aus dem Kurzspeicher übernommenen Nachrichten erfolgt zufällig, wobei es irrelevant ist, ob diese Nachrichten durch Apperzeption, Memoration oder reflexive Bewußtseinsprozesse in den Kurzspeicher gelangten. Die Verteilung der Auswahlwahrscheinlichkeit bleibt offen - der naheliegende Ansatz ist die Gleichsetzung mit der Verteilung der Auffälligkeit (Penetranz; vgl. Frank, 1964 a).

(2) Die Wahl der Speicherzellen im Kurzgedächtnis erfolgt wiederum zufällig - die bisher dort gespeicherten Gedächtnisinhalte werden überschrieben (d.h. vergessen, "verdrängt"). Ebenso wie bei der Auswahl der einzulernenden Kurzspeicherinhalte be-

trifft auch das Überschreiben bisheriger Kurzgedächtnisinhalte stets ganze Wörter (d. h. Codierungen je einer Nachricht bzw. eines Zeichens), nicht einzelne Codeelemente. (Das hiermit entstehende Problem der unterschiedlichen Wortlänge, die zumindest für den Kurzspeicher in der Informationspsychologie angenommen wird, möge einer späteren Untersuchung vorbehalten bleiben, ebenso wie die Frage, ob ein Kurzgedächtnisinhalt, der zufällig nochmals dem Kurzspeicher entnommen wird, an einer zweiten Stelle des Kurzgedächtnisses zusätzlich gespeichert werden kann.)

Das Langgedächtnis verfüge über den Speicherplatz K_{vl}. Es vermag mit der Geschwindigkeit $C_{vl} < C_{vk}$ Nachrichten aus dem Kurzgedächtnis aufnehmen, wobei dieselben beiden Zufallsprozesse wie beim Kurzgedächtnis zu beachten sind, mit dem Unterschied, daß die Auswahl nicht unmittelbar aus dem Kurzspeicher, sondern aus dem Kurzgedächtnis erfolgt. Es soll möglich sein, daß ein Kurzgedächtnisinhalt zugleich Inhalt des Langgedächtnisses ist. Als Inhalt des vorbewußten Gedächtnisses ist also die Vereinigungsmenge der Inhalte des Kurz- und des Langgedächtnisses anzusprechen. Der empirischen Vergessenskurve ist nicht zu entnehmen, wo der jeweils noch vorhandene Informationsrest bewahrt ist.

Unter Zugrundelegung dieses Modells gilt also die Differentialgleichung (1) bzw. das Zerfallsgesetz (3) für beide Teile des vorbewußten Gedächtnisses getrennt. Aus Bild 1 ist zu folgern, daß die Zerfallskonstante k für das Langgedächtnis sehr viel kleiner ist als für das Kurzgedächtnis, so daß nach Gleichung (2) $C_{vl} : K_{vl} < C_{vk} : K_{vk}$ sein muß. Durch Variation der in dieser Ungleichung steckenden Parameter kann nun eine Approximation der empirischen Vergessenskurven durch die aus unserem gedanklichen Modell folgende theoretische Vergessenskurve vorgenommen werden. Da die mathematische Beschreibung der letzteren auf umständliche Ausdrücke führt, empfiehlt sich die Behandlung des Problems durch ein Rechnerprogramm. Relativ grobe Näherungen führten einstweilen auf $C_{vk} \approx 0{,}4 \ldots 0{,}8$ bit/sec, $C_{vl} \approx 1/10\ C_{vk}$, $K_{vk} \approx 1000 \ldots 2000$ bit, $K_{vl} \approx 10^5 \ldots 10^8$ bit.

3. Folgerungen

Das Modell bewährt sich insofern, als daraus nicht nur der qualitative Verlauf der Vergessenskurve (also letztenendes der 1. Jostsche Satz) folgt, zu deren Deutung es entwickelt wurde. Auch der Effekt des Überlernens wird ohne zusätzliche Voraussetzungen erklärt: die weitere Beschäftigung mit einem schon hundertprozentig beherrschten Gedächtnisstoff bringt einen größeren Anteil von diesem auch in das Langgedächtnis, wodurch die Vergessensgeschwindigkeit sinkt. Auch der zweite Jostsche Satz, demnach ein alter Lernstoff mit weniger Übungszeit als ein neuer um denselben vergessenen Anteil ergänzt wird, folgt zumindest qualitativ aus dem Modell. Denn neues Lernen bedeutet Überschreiben bisher verfügbarer Kurzgedächtnisinhalte, also das Risiko, daß dadurch auch schon gelernte Teile des eben einzulernenden Stoffes verloren gehen und

neu gelernt werden müssen; alte Lernstoffe sind jedoch überwiegend solche, die im Langgedächtnis, also sicherer, gespeichert sind. Auch mit der traditionellen Vergessenskurve (Bild 2, nach Hofstätter, 1957) ist das Modell veträglich:

(1) Im Abschnitt beschleunigter Steigung findet noch eine informationelle Akkomodation statt, so daß nach einem bekannten Satz (z.B. Frank, 1964 b) die insgesamt gelernte *subjektive* Information größer ist als die als Ordinatenwert in Bild 2 meist eingetragene objektive Information.

(2) Im geradlinigen Abschnitt wirkt sich C_{vk} praktisch allein aus, da die Wahrscheinlichkeit des Überschreibens schon eingelernter Teile desselben Lernstoffes noch gering ist.

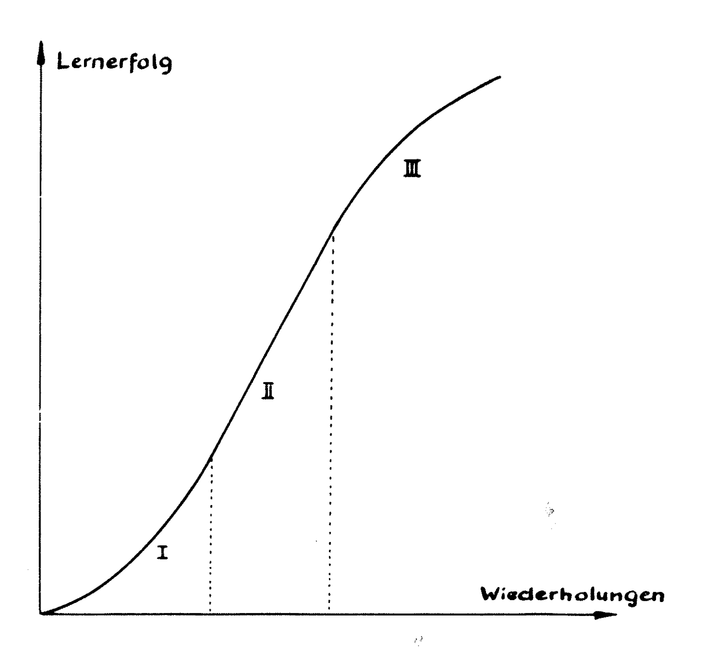


Bild 2

Die traditionelle Lernkurve. Die Maßbestimmungen beider Variablen sind uneinheitlich, so daß dieselben Sachverhalte auf verschiedene Kurven führen können.

(3) Dieses Überschreiben wird merklich im dritten Abschnitt, in welchem überdies immer mehr schon Bekanntes apperzipiert werden muß, so daß die Wahrscheinlichkeit des zufälligen Einlernens neuer Lernstoffteile sinkt.

Ein Modell ist wertlos, wenn es keine prinzipiell falsifizierbaren Konsequenzen zuläßt. Eine solche erhält man, wenn man die bei Rohracher (1960, S. 244 f.) mitgeteilten Meßwerte aus Selbstversuchen von Ebbinghaus informationstheoretisch auswertet.

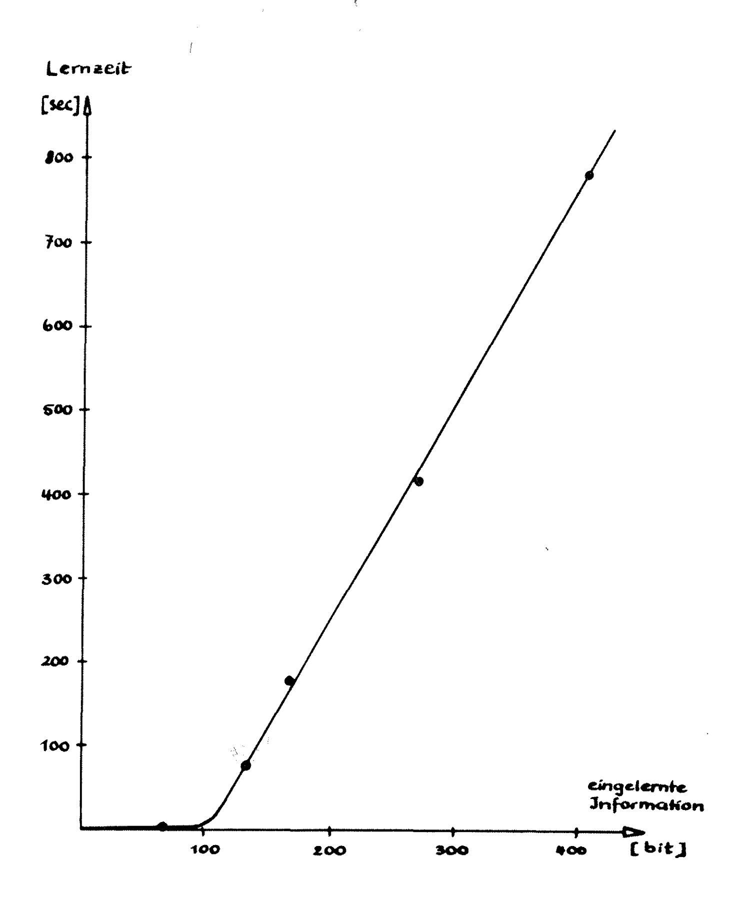


Bild 3

Das Gesetz von Ebbinghaus in informationeller Darstellung.
Meßwerte umgerechnet aus Ergebnissen von Ebbinghaus.

Man erhält als Zusammenhang zwischen gelernter Information und Lernzeit die in Bild 3 eingetragenen Punkte. Da zwischen dem Schluß des Einlernens und der Kontrolle der augenblicklich verfügbaren Information eine kleinere Zeitspanne als die Gegenwartsdauer lag, konnten noch Kurzspeicherinhalte wiedergegeben werden, so daß der geradlinige Kurvenanteil nicht durch den Nullpunkt läuft (er liefert vielmehr eine bei 100 bit liegende untere Schranke für K_k, das Fassungsvermögen des Kurzspeichers!). Aus dem Anstieg des geradlinigen Teils berechnet sich der vergleichsweise (vgl. u.a. von Cube, 1960) niedrige Wert $C_{vk} = 0,4$ bit/sec. Würde unser Modell zutreffen, dann dürfte der geradlinige Kurvenverlauf nicht über K_{vk} hinausreichen. (Es ist also 400 bit $< K_{vk}$!) Für größere Informationsmengen müßte die Kurve zunächst eine grössere Steigung annehmen, nämlich ungefährt $1/C_{vl}$. An der Stelle K_{vl} liegt theoretisch ein Pol.

Abschließend sei darauf aufmerksam gemacht, daß die von Steinbuch (1961, S. 44) hervorgehobene Besonderheit des Gedächtnisses gegenüber einem Speicher, nämlich die assoziative Verknüpfung der Inhalte, in unserem Modell nicht unmittelbar zum Ausdruck kommt. An einer entsprechenden Erweiterung, bei welcher Steinbuchs binäre Lernmatrix als anschauliches Modell fungiert, wird noch gearbeitet.

Eingegangen am 5. Oktober 1964

Schrifttumsverzeichnis:

Förster, Heinz — Das Gedächtnis
Verlag Deuticke, Wien 1948

Frank, Helmar — Zum Problem des vorbewußten Gedächtnisses
GrKG Bd. 2, Nr. 1, 1961, S. 17 - 24

Frank, Helmar — Kybernetische Grundlagen der Pädagogik. Eine Einführung in die Informationspsychologie,
Agis-Verlag, Baden-Baden, und Gauthier-Villars Paris, 1962, 175 S.

Frank, Helmar — Kybernetische Analysen subjektiver Sachverhalte, Verlag Schnelle, Quickborn, 1964 a, 82 S.

Frank, Helmar — Über den nicht-negativen Erwartungswert von $i_{sub}(z_i) - i(z_i)$.
Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft, Bd. 5, Nr. 1, S. 25-30, 1964 b

Hofstätter, Peter R.	Psychologie (Fischer-Lexikon Nr. 6) Fischer Bücherei, Frankfurt/M., 1957 b, 367 S.
Rohracher, Hubert	Einführung in die Psychologie, Verlag Urban & Schwarzenberg, Wien/Innsbruck, 7. Aufl. 1960, 524 S.
Steinbuch, Karl	Die Lernmatrix Kybernetik, Bd. 1, Nr. 1, 1961, S. 36 - 45
von Cube, Felix	Zur Theorie des mechanischen Lernens, GrKG, Bd. 1, Nr. 5, 1960 , S. 143 - 144

INFORMATIONSWISSENSCHAFT UND MUSIKANALYSE

von Volker Stahl, Uffenheim

Es soll der Versuch unternommen werden, mit den Mitteln der mathematischen Informationstheorie Stilepochen in der Musik zu charakterisieren. Das heißt, zu finden ist ein Zahlenfaktor, der einer Epoche der abendländischen Musikgeschichte oder gar einem Komponisten möglichst eindeutig zugeordnet werden kann. Es müßten sich dann die Stilkonstanz in einer Zahlenkonstanz und Stilabstände in Zahlenabständen erkennen lassen (vgl. dazu auch Fucks, 1957 und 1962).

Nur unter diesem Gesichtspunkt werden die Beispiele untersucht. Ein Angehen von"Wesen", "Inhalt", "Größe" und dergleichen der Musik mit mathematischen Mitteln darf darin nicht gesehen werden. Objekt der Untersuchung sind lediglich Elemente der Syntax, der äußeren, grammatischen Form der einzelnen Kompositionen. Der musikalische "Inhalt" etc. entzieht sich dem Zugriff der Mathematik.

Man kann bei der Betrachtung eines Musikstücks von den einfachsten syntaktischen Elementen ausgehen und übergeordnete Zusammenhänge außeracht lassen. So gesehen stellt dieses nichts anderes als eine Folge verschiedener Töne dar. Die Töne werden in einer bestimmten Form angeordnet, wobei dem Komponisten mehrere Repertoires zugleich zur Verfügung stehen: Tonhöhe, Tondauer, Intensität, Klangfarbe usw. Bestimmte Form heißt: Die Zahl der theoretischen Möglichkeiten wird stark eingeschränkt durch Kompositionsgesetze, Grenzen der Spielbarkeit, den jeweiligen Zeitgeschmack, Eigenarten des Komponisten usw. Der Künstler schöpft nur einen kleinen, im Ganzen fast stets gleichbleibenden Teil seiner Freiheit aus, d.h. er verwendet die eben für ihn charakteristischen Anordnungen bevorzugt.--Die vorliegende Untersuchung beschränkt sich auf zwei Repertoires: Tonhöhe und Tondauer. Es wurden die Solostimmen von Violinkonzerten und -sonaten aus den Epochen vom Barock bis zur Gegenwart herangezogen. Dabei zeigt sich, daß die Kurven der ausgezählten relativen Häufigkeiten der einzelnen Elemente bei den einzelnen Komponisten ein fast gleichbleibendes und für sie signifikantes Bild ergeben. Als Beispiel sei der Verlauf der Tonhöhenhäufigkeiten bei Solosonaten Bachs angeführt (Bild 1).

Zusätzlich wurden gregorianische Gesänge untersucht. Da diese rein melismatisch und nicht mensural notiert sind, konnten lediglich die Tonhöhen ausgezählt werden.

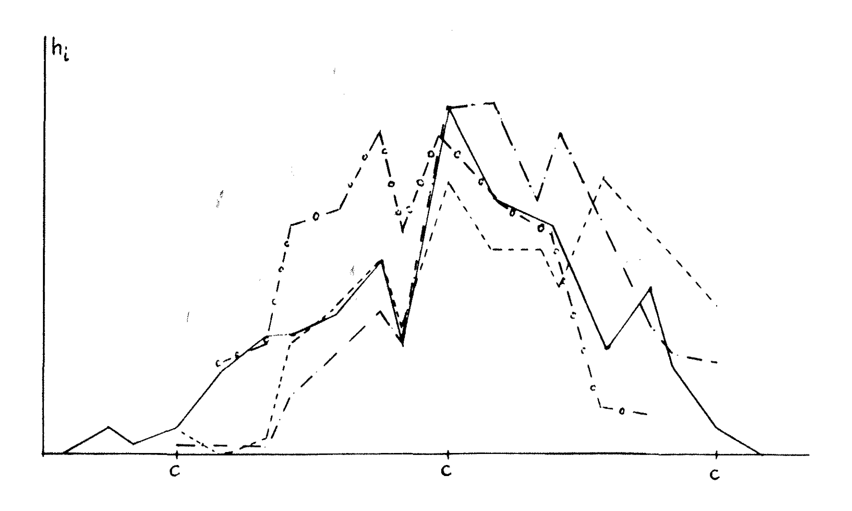
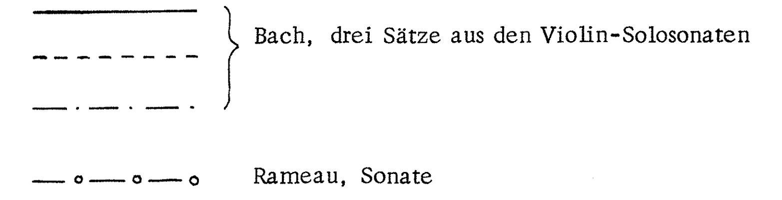


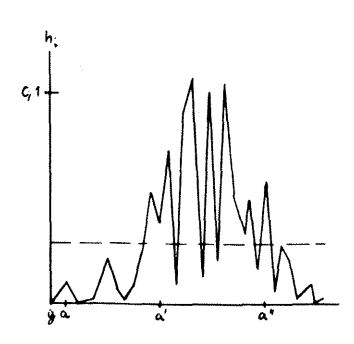
Bild 1

Der Verlauf der Tonhöhenhäufigkeit in Kompositionen des Barock. Es ergibt sich ein ziemlich gleichmäßiges Bild der Bevorzugung der Hauptstufen unseres Tonsystems.

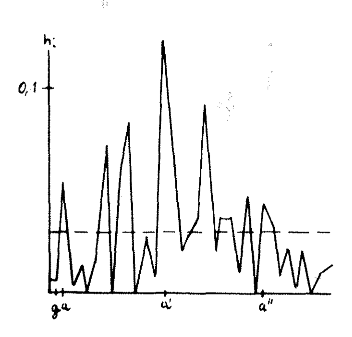


Die Dominanz einzelner Stufen unseres Tonsystems geht im Laufe der Musikgeschichte immer mehr zurück. Bei den "Atonalen" nähert sich die Kurve der Geraden bei Gleichverteilung der Tonhöhen (Bild 2).

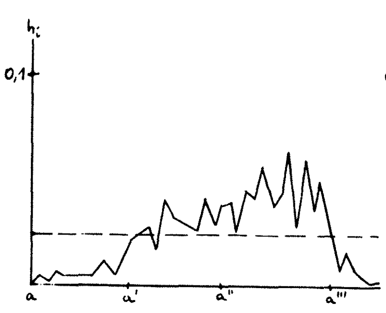
Eine Möglichkeit, diese Beobachtungen in die Form einer mathematischen Aussage zu bringen, bietet die Informationstheorie.



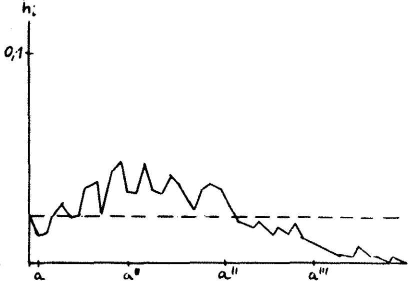
Bach: Violinkonzert a



Schumann: Violinkonzert



Hindemith: Violinkonzert



Berg: Violinkonzert

Bild 2

Verteilungen der relativen Häufigkeiten (h_i) der Tonhöhen. Die gestrichelte Gerade gibt die jeweilige Gleichverteilung der Häufigkeiten an.

Sind h_i die relativen Häufigkeiten eines Zeichens in einem geschlossenem Text aus n verschiedenen Zeichen, so gilt die Shannonsche Formel zur Errechnung des durchschnittlichen Informationsbetrages eines Zeichens:

$$H = \sum_{i=1}^{n} h_i \cdot ld \frac{1}{h_i} ; \qquad \text{bei} \sum_{i=1}^{n} h_i = 1 .$$

Der durchschnittliche Informationsbetrag H eines Zeichens ist die Entropie des Textes.

Es werden nun für jede Komposition die Häufigkeiten der einzelnen Tonhöhen und Tonlängen ausgezählt und die Werte für die Entropie bestimmt.

Nun ist aber der Repertoireumfang bei den einzelnen Werken verschieden. Die Entropiewerte können erst dann miteinander verglichen werden, wenn eine Größe gefunden ist, bei der der Umfang des verwendeten Repertoires herausfällt.

Die geeignete Größe ist der Wert für die Redundanz, der H zur maximalen Entropie in Beziehung setzt durch

$$R = \frac{H_{max} - H}{H_{max}} .$$

Die Funktion $H = \sum_{i=1}^{n} h_i \cdot ld\ 1/h_i$ erreicht ihr Maximum bei Gleichverteilung der

Häufigkeiten h_i. Also

$$H_{max} = ld\ n$$

und

$$R = \frac{ld\ n - H}{ld\ n}$$

Erst damit ist es möglich, verschiedene Kompositionen zueinander in Beziehung zu setzen, da der Wert R von Textlänge und Repertoireumfang unabhängig ist.

Als Beispiel für die Berechnung von R sei der zweite Satz von Schumanns Violinkonzert angeführt. Die Verteilung der Tonwerthäufigkeiten zeigt folgendes Schema

1/16	1/8	3/16	1/4	3/8	1/2	3/4	/8-Triolen
154	116	14	39	7	6	3	6

Die Formel für die Entropie $H = \sum_{i=1}^{n} h_i \cdot \mathrm{ld}\ 1/h_i$ soll der Einfachheit halber verwandelt werden in

$$H = \mathrm{ld}\ u - 1/u \sum_{i=1}^{n} N_i \cdot \mathrm{ld}\ N_i$$

wobei $u = \sum_{1}^{n} N_i$ gilt, und N_i die absoluten Häufigkeiten bezeichnet.

Für das Beispiel gilt dann

$$H = \mathrm{ld}\ 345 - \frac{1}{345} \cdot (154 \cdot \mathrm{ld}\ 154 + \ldots + 3 \cdot \mathrm{ld}\ 3) = 1{,}96821$$

und die Redundanz $R = \dfrac{\mathrm{ld}\ 8 - 1{,}96821}{\mathrm{ld}\ 8} = 0{,}34393$.

Zur anschaulichen Darstellung werden die Ergebnisse in ein Koordinatensystem eingetragen. Auf der Abszisse liegt die Tonhöhenachse, auf der Ordinate die Tonlängen - achse (Bild 3). Darauf lassen sich nun "Stilkonstanz" und "Stilstreuung" einzelner Autoren ebenso ablesen wie "Nachbarschaft" und "Abstand" verschiedener Werke. Deutlich wird hier, daß die Entwicklung der abendländischen Musik in e i n e r Richtung erfolgte : Die Redundanz verringerte sich monoton.

Bildet man die Mittelwerte der R-Werte ganzer Epochen und trägt diese über den Mittelwerten der Kompositionsdaten auf, so ergibt sich zum Schluß Bild 4.

Mit diesem Versuch sollte gezeigt werden, daß es möglich ist, mit mathematischen Methoden Aussagen über ein Gebiet zu machen, das bisher einer quantitativen Erfassung für unzugänglich gehalten wurde. Wie man sieht, genügen schon solche Größen wie die Häufigkeiten der Töne, um zu Ergebnissen zu kommen. Daß die Häufigkeitsverteilung

nicht "die Musik ausmacht" ist selbstverständlich. Es sei daher nochmals betont, daß über die Inhalte der Kunst von Seiten einer Wissenschaft, die nur mit meßbaren Größen operiert, nichts gesagt werden kann. Doch liegt ein Schließen von einem auf das andere nicht außerhalb des Möglichen.

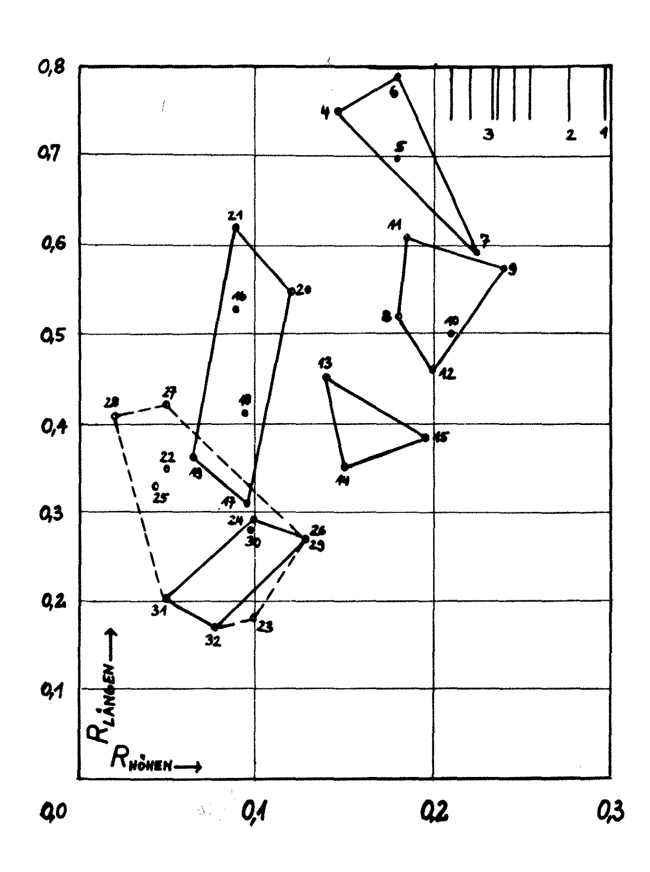


Bild 3

Die Redundanzwerte für die Tonhöhen- und Tonlängenverteilungen ($R_{\text{Höhen}}$ und $R_{\text{Längen}}$) lassen sich in ein Koordinatensystem eintragen. Kompositionen der gleichen Stilepochen sind zusammengefaßt.

zu Bild 3

Die untersuchten Werke:

Gregorianik

1 Orationston
2 Confitebor Domine
3 Teile der Gregorianischen Matthäuspassion

Barock

4 Händel: Violinsonate D - dur
5 - 7 Bach: Violinkonzert a-moll (3 Sätze)

Klassik

8 - 9 Mozart: Violinkonzert KV 271 a (S. 1 und 3)
10 Mozart: Ave verum
11 - 12 Beethoven: Violinkonzert (S. 1 und 2)

Romantik

13 - 15 Schumann: Violinkonzert

Moderne (tonal)

16 - 18 Hindemith: Violinkonzert
19 - 21 Bartók: Violinkonzert

Moderne (atonal)

22 Schönberg: Violinkonzert (S. 2)
23 Berg: Violinkonzert (S. 1)
24 Barber: Violinkonzert (S. 1)
25 - 28 Webern: Vier Stücke für Violine und Klavier

"musica viva"

29 - 31 Klebe: Violinsonate op. 14
32 Piston: Violinsonate

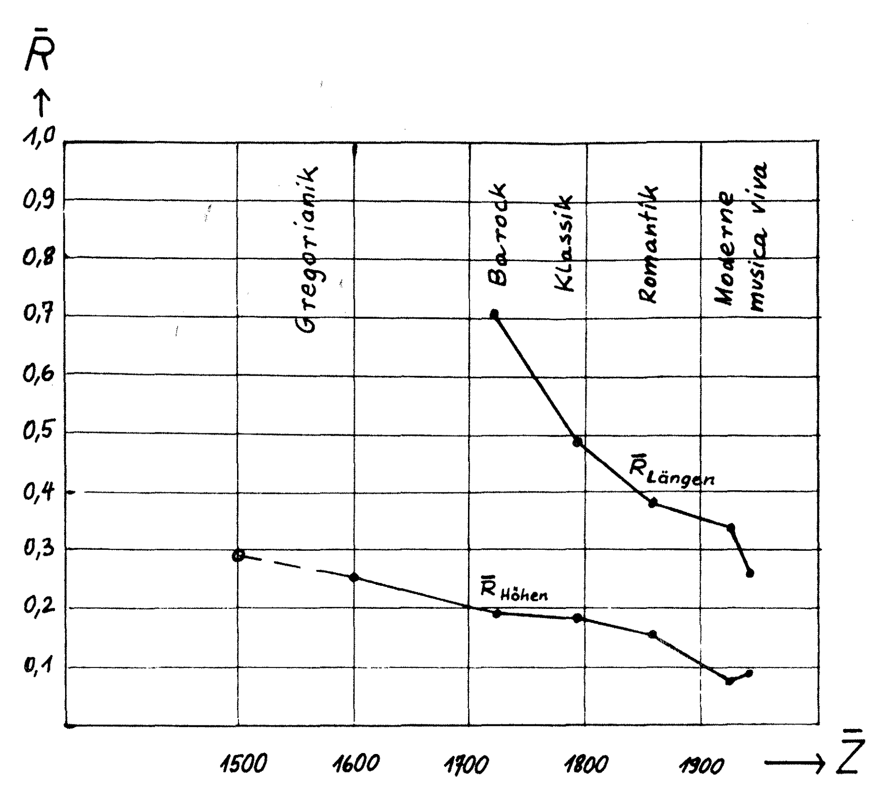


Bild 4

Verlauf der Redundanzwerte.
Es bezeichnen $\bar{R}$ die gemittelte Redundanz
$\bar{Z}$ die gemittelte Kompositionszeit

Schrifttumsverzeichnis:

Fucks, Wilhelm: "Gibt es mathematische Gesetze in Sprache und Musik?" in: Die Umschau in Wissenschaft und Technik, Jg. 1957, S. 33-37. (überarbeitete Fassung in H. Frank, Hsg., Kybernetik - Brücke zwischen den Wissenschaften, 3. Aufl. 1964, S. 171-183.)

Fucks, Wilhelm: "Mathematische Musikanalysen und Randomfolgen, Musik und Zufall" in: Gravesaner Blätter, Jg. 1962, S. 132 - 145.

Eingegangen am 31. August 1964.

DAS RHETOMETER – EIN RHETORISCHES RÜCKKOPPELUNGSINSTRUMENT

von Helmar Frank (Waiblingen) und Eberhard Schnelle

1. Problemstellung

Nach der Art des Nachrichtenflusses zwischen Lehrsystem und Lernsystem(en) werden in der Kybernetischen Pädagogik vier wichtigste Unterrichtssituationen unterschieden: die Vorlesungssituation, die Einzelschulung, die Parallelschulung und die Gruppenschulung (Frank 1963, S. 15 f). Während bei der (entsprechend definierten) Vorlesungssituation ein Informationsfluß vom Lernsystem zum Lehrsystem fehlt, so daß alle Nachteile des Steuerungsprinzips gegenüber dem Regelungsprinzip auftreten, strömt bei der Parallelschulung dem Lehrsystem Information von jedem Lernsystem getrennt zu, so daß die Nachrichtenverarbeitungskapazität des Lehrsystems, sofern dieses im konkreten Falle ein Mensch (Lehrer) ist, in der Regel überschritten wird. Der bekannte Ausweg, die als wesentlich angesehenen Funktionen des Lehrers durch einen Allzweckrechner zu objektivieren (Frank, 1963, S. 16; Berger, 1963) dürfte auch künftig in vielen Fällen daran scheitern, daß neue Sachverhalte so rasch einer bestimmten Anzahl von Adressaten gelehrt werden müssen, daß keine Zeit für die Entwicklung und Programmierung eines Lehralgorithmus verbleibt, daß sie also unmittelbar vom Menschen vorzutragen sind. In diesem Falle wäre eine Rückkoppelung über ein Ausmittlungssystem wünschenswert, das dem Redner unmittelbar die für seine weitere Vortragsgestaltung wichtigen statistischen Werte liefert. Damit gelangen wir zu einer fünften Unterrichtssituation (Bild 1), bei welcher trotz vorhandener Rückkoppelung und trotz der Vielzahl der Adressaten die Nachrichtenverarbeitungsfähigkeit des lehrenden Menschen nicht notwendig überschritten wird. Wir werden sehen, daß ein solches Ausmittlungssystem nicht nur in der semantischen Dimension der Nachrichten, nämlich insbesondere als Anzeiger eines mittleren Verständnisses der Adressaten, verwendbar ist, sondern auch in der syntaktischen und der pragmatischen Dimension.

2. Technische Realisierung

Die einfachste Realisierung des besagten Ausmittlungssystems dürfte darin bestehen, daß jedem der a Adressaten die Möglichkeit geboten wird, den jeweils interessierenden Parameter (Lautstär-

ke, inhaltliche Verständlichkeit, normative Überzeugungskraft u. a.) seines subjektiven Urteils über die Rede als Zahlenwert p zwischen zwei Grenzen (z. B. 0 % und 100 % Verständlichkeit) unbemerkt einzustellen, und daß durch eine geeignete Schaltung dem Redner das arithmetische Mittel $\bar{p}$ dieser Einstellung angezeigt wird.

Dazu können a lineare Potentiometer desselben vollen Widerstandes r hintereinander geschaltet werden, so daß jeder Teilwiderstand der Serienschaltung eine zum Drehwinkel des Schaltkopfes proportionale Größe $p_k \cdot r$ mit $0 \leqq p_k \leqq 1$ und $k = 1, 2, \ldots, a$ hat. Fließt durch diese Widerstandskette der eingeprägte Strom i_a, dann wirft er die Gesamtspannung

$$(1) \qquad u = i_a \cdot \sum_{k=1}^{a} p_k \cdot r = a \cdot i_a \cdot r \cdot \bar{p}$$

auf, wobei natürlich auch das arithmetische Mittel $\bar{p}$ nur zwischen 0 und 1 liegen kann. Ein Spannungsinstrument mit dem Endausschlag $i_a \cdot r \cdot a$ zeigt dann stets den momentanen Wert $\bar{p}$ an.

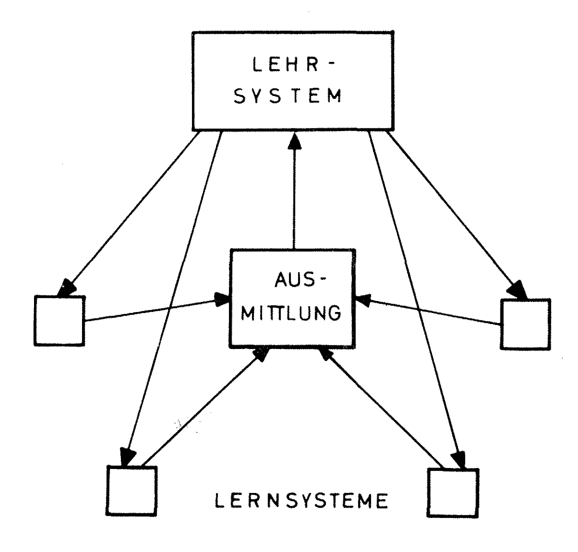


Bild 1:

Die Unterrichtssituation der "Vortragsregelung"

Einer einfachen und exakten Realisierung dieses Systems steht die Schwierigkeit der Erzeugung eines eingeprägten Stromes i_a entgegen. Praktisch wird man die Potentiometerkette über einen Vorwiderstand R an eine Urspannung U anlegen müssen. Verwendet man einen Röhrenvoltmeter bzw. ein Meßinstrument ohne Leitwert, dann gilt für i_a

(2) $$i_a = \frac{U}{R + a \cdot r \cdot \bar{p}} \quad ,$$

d.h. der "eingeprägte" Strom darf nur für $R \gg a \cdot r$ oder $\frac{r}{R} = \varrho \ll \frac{1}{a}$ als praktisch unabhängig von $\bar{p}$ angesehen werden, streng genommen gilt statt (1) die Gleichung

(1a) $$u = \frac{U}{R(1 + a \cdot \varrho \cdot \bar{p})} \cdot r \cdot \bar{p}$$

Die gemessene Spannung u ist nun zwar keine lineare, aber noch immer eine monotone Funktion von $\bar{p}$, so daß durch (1a) lediglich eine nichtlineare Skalenteilung des Voltmeters erzwungen wird. Praktisch wird man den Aufwand eines Röhrenvoltmeters vermeiden und stattdessen ein Drehspulinstrument mit nicht vernachlässigbar kleinem Leitwert verwenden. Wir bezeichnen den a-ten Teil des Gesamtwiderstandes des Drehspulinstruments samt aller seiner etwaigen Vorwiderstände mit D. Dann liegt die Urspannung U am Gesamtwiderstand

(3) $$R_{ges} = R + \frac{a \cdot r \cdot D \cdot \bar{p}}{r \cdot \bar{p} + D} \quad .$$

Man wird natürlich D so bemessen, daß das Instrument für $\bar{p} \doteq 1$, also beispielsweise bei hundertprozentiger Verständlichkeit des Referats für alle Adressaten, seinen vollen Ausschlag zeigt.

Der durch R fließende Gesamtstrom $i = U/R_{ges}$ verteilt sich nun auf den die Potentiometer enthaltenden Zweig und den Zweig mit dem Voltmeter im umgekehrten Verhältnis zum Gesamtwiderstand dieser beiden Zweige. Daher ist (1a) zu ersetzen durch

(1b) $$u = a \cdot \frac{U}{R(1 + a \cdot \varrho \cdot \bar{p} + f \cdot \bar{p})} \quad r \cdot \bar{p}$$

wenn $f = r/D$ gesetzt wird.

Noch immer ist u eine monotone, wenn auch nichtlineare Funktion von $\bar{p}$. Das Meßinstrument kann also stets so geeicht werden, daß es das arithmetische Mittel $\bar{p}$ anzeigt, unabhängig von den fest gewählten Verhältnissen $\varrho = r/R$ und $f = r/D$.

Fordert man nun, daß das Voltmeter das arithmetische Mittel $\bar{p}$ mit vorgegebener Genauigkeit unabhängig von der Zahl a der Adressaten anzeigt, dann muß wegen (1b)

1. außer der anliegenden Spannung u auch der Gesamtwiderstand des Instruments samt seiner Vorwiderstände zu a proportional, nämlich a . D mit konstantem Teilwiderstand D sein;

2. $\varrho \ll \frac{1}{a}$ gelten, damit u genügend genau zu a proportional ist.

Die erste Forderung ist dadurch zu erfüllen, daß dem (gegebenfalls erhöhten) Innenwiderstand D des Meßinstruments a - 1 gleichgroße hintereinandergeschaltete Widerstände vorgeschaltet werden, und daß man je einen dieser Vorwiderstände gleichzeitig mit einem nicht benutzten Potentiometer (freier Adressatenplatz) überbrückt (vgl. Bild 2). Dem Widerstand des Meßinstruments selbst entspricht dann ein nicht abschaltbares Potentiometer, das z. B. am Platz des Diskussionsleiters angebracht werden kann (das unterste in Bild 2).

Die zweite Forderung ist nur bei Vorgabe einer maximalen Adressatenzahl A erfüllbar. Da der Transinformationsgehalt des absoluten Urteils bei keiner Sinnesmodalität und -qualität größer als etwa 3 bit zu sein scheint (vgl. Attneave, 1959 und Luce, 1960), wird man auch bei der subjektiven Beurteilung eines "rhetorischen Parameters" ein besseres Auflösungsvermögen als in höch -

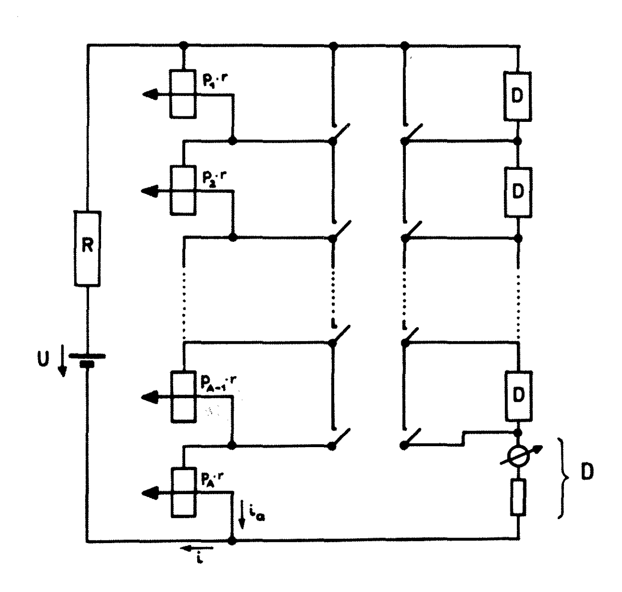


Bild 2:

Einfache Realisierung eines Rhetometers für maximal A Adressatenplätze

stens etwa 8 Stufen nicht voraussetzen dürfen, d.h. eine 10%ige Genauigkeit der Anzeige des Instruments bei variierter Adressatenzahl ist völlig ausreichend. Damit der Vollausschlag für a = A um weniger als 10 % überschritten wird, wenn a auf 0 sinkt, muß nach (1b) gelten:

$$(4) \qquad \varrho \leqq \frac{0,1\,(1+f)}{A} < \frac{0,1}{A} .$$

Bei der am Lehrstuhl für Informationswissenschaft der Pädagogischen Hochschule Berlin für das Organisationsteam Schnelle, Quickborn, von den Herren Apel, R. Kistner und G. Müller gebauten Anlage (Bild 3) wurden bis A = 40 Adressatenanschlüsse vorgesehen. Die gewählte Dimensionierung ist $r = 100\,\Omega$, $R = 64\,k\Omega$, $D = 200\,\Omega$, also $\varrho = 1/640$, $f = 0,5$.

3. Anwendung

Die Anlage, für welche die Bezeichnung "Rhetometer" vorgeschlagen wird, kann im Prinzip für alle drei Zeichendimensionen und damit als mittelndes Regelungsglied bei allen Typen der freien Rede (vgl. Frank-Böhringer, 1963, S. 15-20) eingesetzt werden. Besonders interessant ist die Verwendung für die semantische und die pragmatische Zeichenfunktion.

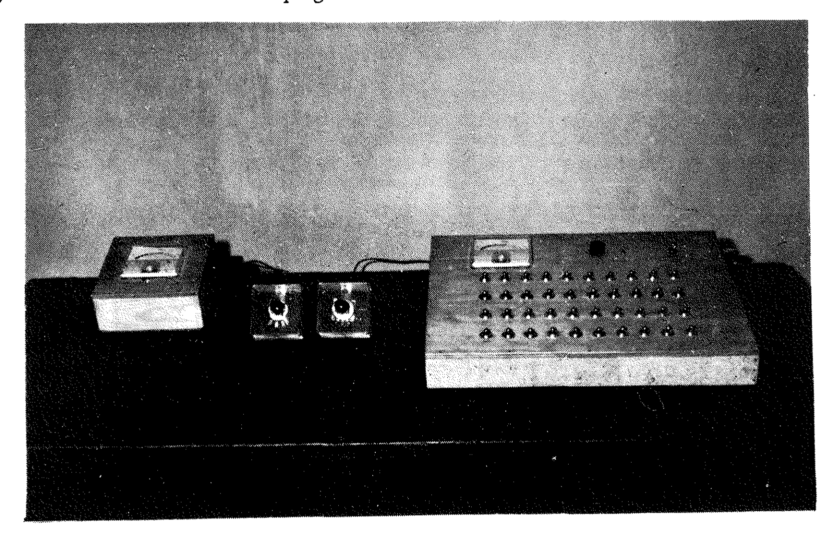


Bild 3: Pult des Diskussionsleiters mit Rhetometer und Abschaltknöpfen für freie Adressatenplätze (rechts), zwei Potentiometer (Mitte) und Rhetometer des Referenten (links).

Bei der Verwendung in der semantischen Zeichenfunktion zeigt das Instrument dem Fachreferenten (und dem Diskussionsleiter) an, ob der Transinformationsgehalt der Wortfolge über die darin ausgedrückten Sachverhalte angemessen hoch ist. Dadurch wird eine Einregelung der vom Referenten aufgewandten Redundanz auf einen Sollwert ermöglicht. Die Adressaten können (unbemerkt) durch Drehung an ihrem Potentiometer zum Ausdruck bringen, ob sie dem Inhalt des Referats zu 100 % folgen können (rechte Extremstellung) oder überhaupt nicht (linke Extremstellung) oder zu einem dazwischenliegenden Prozentsatz p_k. Die Erprobung zeigte jedoch, daß auf diese Weise eine zu große Redundanz nicht abgebaut wird, da der Adressat zwar die Möglichkeit hat, eine für ihn zu geringe Redundanz durch $p_k < 100$ % anzuzeigen, nicht aber eine für ihn zu große. Daher wurde an die Potentiometer eine fühlbare Zwischenmarke angebracht, von wo aus der Adressat um einen entsprechenden Winkel und rechts bzw. nach links drehen kann, je nachdem, ob ihm das Vorgetragene als semantisch zu redundant oder zu wenig faßbar erscheint.

Der Einsatz des Rhetometers in der semantischen Dimension ist übrigens eine Verallgemeinerung der Umschalter, mit denen Heribert Heinrichs bei seinen schulinternen Fernsehunterrichtsversuchen die Adressaten binär kundtun läßt, ob sie einen bestimmten Sachverhalt verstanden oder nicht verstanden haben.

Bei der Verwendung in der pragmatischen Zeichenfunktion kann der Adressat den Grad seiner Zustimmung zu vorgetragenen Forderungen zum Ausdruck bringen, was dem agitatorischen Redner (im Sinne der Terminologie von Frank-Böhringer, 1963 S. 9 und 19) ein überlanges Plädoyer für schon angenommene Postulate erspart. Diese Anwendung kann insbesondere die Beschlußfassung in entscheidenden Gremien der Wirtschaft und Politik beschleunigen.

4. Weiterentwicklung

Eine Weiterentwicklung liegt in zwei Richtungen nahe. Erstens könnte man durch mehrere Instrumente und mehrere Potentiometer pro Adressatenplatz mehrere interessierende Redepartner syntaktischer, semantischer und pragmatischer Art beurteilen lassen. Zweitens könnte man versuchen, außer dem Mittelwert $\bar{p}$ auch die Streuung (z. B. unter Verwendung des Hall-Effektes oder eines Spezialzweck-Hitzdrahtinstruments) anzuzeigen, oder zumindest die Zahl der unterhalb einer bestimmten Schwelle liegenden Potentiometereinstellungen. Bei all diesen Erweiterungen ist natürlich ein allzugroßer Informationsrückfluß zum Redner mit Rücksicht auf dessen beschränkte Nachrichtenverarbeitungskapazität zu vermeiden.

Eine andere naheliegende Weiterentwicklung ist schließlich der Anschluß eines Geräts zur zeitlichen Aufzeichnung von $\bar{p}$ (synchron zur Tonbandaufnahme der Rede bzw. des Vortrags). Damit würden Unterlagen für die genauere Analyse der Redewirkung verfügbar, was für die wissenschaftliche Pädagogik und die Theorie der Rhetorik interessant werden könnte.

Schrifttumsverzeichnis

Attneave, Fred: Applications of Information Theory to Psychology
A summary of basic concepts, methods and results.
Henry Holt & Co. New York, 1959, 120 S.

Berger, Manfred: Universal-Rechenautomaten als Lehrmaschinen
In: H. Frank (Hsg.): Lehrmaschinen in kybernetischer und pädagogischer Sicht, Bd. I, Klett-Oldenbourg, Stuttgart-München 1963, S. 27-35

Frank, Helmar: Kybernetik und Lehrmaschinen
In: H. Frank (Hsg.), Lehrmaschinen in kybernetischer und pädagogischer Sicht, Bd. I, Klett-Oldenbourg, Stuttgart-München, 1963, S. 13-26

Frank-Böhringer, Brigitte (Hsg.) Rhetorische Kommunikation. Grundlagen und Methodik des Redens. Verlag Schnelle, Hamburg-Quickborn, 1963, 136 S.

Luce, R. Duncan: The Theory of Selective Information and some of its Behavioral Applications.
In: Luce, R. D. (Hsg.) Developments in Mathematical Psychology. The Free Press of Glancoe, Glancoe, Illinois 1960

Eingegangen am 4. Juli 1964

KYBERNETISCHE VERANSTALTUNGEN

Die Pädagogische Hochschule Berlin führt im Vorlesungsverzeichnis für das Wintersemester 1964/65 erstmals eine Vorlesungsgruppe "Kybernetik" auf. Die Vorlesungen, die auch Studierenden mit anderen als pädagogischen Studienrichtungen zugänglich sind, gelten einer Einführung in die Informationswissenschaft, der Theorie abstrakter Automaten, der Informationstheorie, der Regelungstechnik, einer Einführung in die mathematische Statistik, der angewandten Organisationskybernetik, der Philosophie der Kybernetik und kybernetischen Grundlagen der Didaktik.

Die "Arbeitsgemeinschaft Programmierte Instruktion e. V." veranstaltet vom Donnerstag, 25. März, bis Samstag, 27. März 1965, das 3. Nürtinger Symposion über Lehrmaschinen. Anmeldungen beim örtlichen Tagungsleiter: Richard Riederer, 744 Nürtingen, Farrenstr. 7. Der wissenschaftlichen Tagung gehen in Nürtingen außerhalb der Verantwortlichkeit der AgPI an den beiden Vortagen einführende Veranstaltungen anläßlich einer Fachausstellung über Kybernetische Pädagogik und Programmierte Instruktion voraus. Anfragen hierzu werden ebenfalls von Herrn Riederer beantwortet.

Die "Deutsche Arbeitsgemeinschaft Kybernetik" veranstaltet vom Montag, 8. August bis Samstag, 13. August 1965, in Kiel einen internationalen Kybernetik-Kongreß. Auf dem vorläufigen Tagungsprogramm stehen Vorträge über biologische, medizinische und physiologische Fragen, über kybernetische Probleme der Psychologie, Pädagogik und Philosophie, über Nachrichtentechnik, Informationstheorie, Steuerungs- und Regelungstechnik und Lernmodelle, sowie über Themen aus der mathematischen Kybernetik, der Rechenautomatentechnik und der informationswissenschaftlichen Anwendung von Rechenautomaten, insbesondere bei der automatischen Sprachübersetzung.

Die Technische Universität Berlin bereitet ein Brennpunktprogramm vor, das von der Stiftung "Volkswagenwerk" unterstützt wird. Neben der Navigation ist auch die Kybernetik als Brennpunkt vorgesehen.

STATISTISCHE GRAFIK

von Georg N e e s , Erlangen

Zur automatischen Erzeugung von Grafiken standen ein lochstreifengesteuerter Zeichentisch vom Typ ZUSE 64 und eine Digitalrechenmaschine S & H 2002 zur Herstellung der Steuerlochstreifen zur Verfügung. Zu studieren ist die Hervorrufung "ästhetischer Unruhe" durch statistische Streuung der Strukturparameter von Grafiken. Im hier gezeigten Fall werden die Eckpunktlagen von aneinanderhängenden Quadraten gestreut. Ist P ein Eckpunkt, so wird P in ein nach rechts und oben angrenzendes Quadrat gestreut (Bild 1). Die Streuung erfolgt mit Hilfe eines Pseudozufallsgenerators, der sich erst nach mehr als 2 hoch 30 Zufallswerten wiederholt.

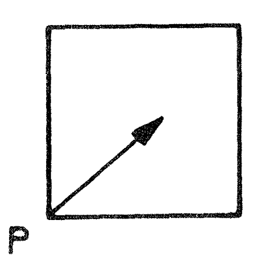


Bild 1

Zeichnerisch verzerrt wurden 39 vertikal aneinandergefügte Quadrate (Bild 2). Dabei hat das Streuquadrat (siehe Bild 1) die gleiche Größe wie die zu verzerrenden Quadrate. Das Zeichenprogramm lautet folgendermaßen:

1. Streue und speichere P_1. Für i von 2 bis 40: Zeichne die Strecke $P_{i-1}P_i$ mit gestreutem P_i und speichere P_i.
2. Für i von 1 bis 40: Zeichne die Strecke P_iQ_i mit gestreutem Q_i und speichere Q_i.
3. Für i von 2 bis 40: Zeichne die Strecke $Q_{i-1}Q_i$.

Bild 3 zeigt das Ergebnis.

Der Versuch steht im Zusammenhang einer Strukturtheorie der statistischen Grafik.

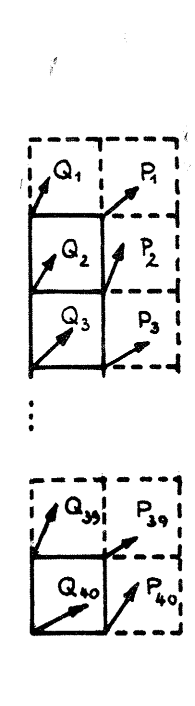


Bild 2

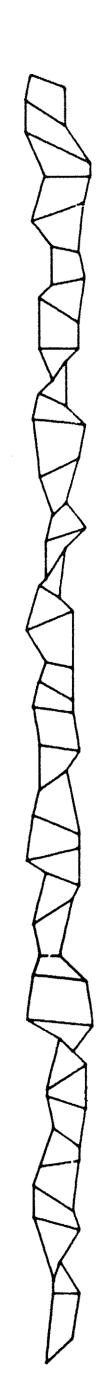


Bild 3

Eingegangen am 10. Oktober 1964

EXPERIMENTE ZUR GRUPPENENTROPIE

von Felix von Cube, Stuttgart / Berlin

§ 1 Begriff der Gruppenentropie

Der Kybernetik, speziell der Informationstheorie, ist es gelungen, den Begriff der Ordnung (Entropie) durch eine mathematische Formel darzustellen. Die Anwendung des Entropiebegriffes blieb dabei auf sogenannte "Sender" und "Empfänger" beschränkt, d.h. auf Systeme von endlich vielen Elementen, die mit bestimmten Wahrscheinlichkeiten auftreten beziehungsweise erwartet werden. Tatsächlich ist der Begriff der Entropie jedoch so universal, daß er auch auf die Ordnungsgefüge sozialer Gruppen anwendbar ist, sofern die sozialen Beziehungen in irgendeiner Weise quantifiziert werden.

Dieser Sachverhalt wird aber durch die von Moreno (1954) inaugurierte Methode der Soziometrie erfüllt. Dabei werden die Individuen einer Gruppe aufgefordert, bezüglich eines bestimmten Kriteriums (z.B. des Nebeneinandersitzens) eine vorgegebene Anzahl anderer Individuen zu wählen. Eine solche Wahl kann im positiven Sinne als "Anziehung" oder im negativen Sinne als "Abstoßung" getroffen werden. Die Anzahl der Wahlen, die bei einem solchen Test ein Individuum auf sich vereinigt, gestattet einen ersten Einblick in die soziale Struktur einer Gruppe. Zur Darstellung dieser Struktur wird dabei die "soziometrische Matrix" oder das "Soziogramm" (Moreno, 1954) benützt. Da es sich bei solchen Beziehungen nicht um eine Selektion von Elementen handelt, die ein Sender vollzieht, sondern um gegenseitige Wahlen oder allgemeiner: um gegenseitige Beziehungen von Elementen untereinander, nennen wir eine auf diesem Prinzip der "gegenseitigen Elektion" basierende Interpretation des Entropiebegriffs im folgenden "elektive Entropie" (Cube/Gunzenhäuser, 1963) oder (in einer speziellen Fassung) "Gruppenentropie".

Bei der Definition der Gruppenentropie werden die Wahrscheinlichkeiten p_i beziehungsweise relativen Häufigkeiten h_i durch die normierte Anzahl der auf ein Individuum entfallenden Wahlen ersetzt. Dabei sind zwei Fälle zu unterscheiden:

a) Ist (wie bei vielen soziometrischen Tests) neben der Anzahl n der Individuen auch die Anzahl k der zu treffenden Wahlen vorgegeben und bedeutet v_i die Anzahl der von einzelnen Individuen I_i tatsächlich erhaltenen Wahlen, dann definieren wir als "Gruppenentropie" eines solchen Systems den Ausdruck

$$(1) \qquad EE = - \sum_{i=1}^{n} h_i \cdot \text{ld}\, h_i \qquad \text{mit} \qquad h_i = \frac{v_i}{kn}$$

Das Maximum der Funktion EE ist im Gegensatz zu allen übrigen Werten von EE nur von n abhängig und wird durch $EE_{max} = \text{ld}\, n$ gegeben; das Minimum der Funktion EE wird

durch ein Maximum von (n - 1)-mal und 0-mal "Gewählten" charakterisiert. Es nimmt den Wert 0 nicht an.

b) Ist keine bestimmte Wahlzahl k vorgegeben (wie z. B. bei der soziometrischen Untersuchung von Dramen), so müssen die quantifizierten Beziehungen v_i durch die Gesamtzahl der vorhandenen Beziehungen normiert werden. Da hierbei auch der Fall eintreten kann, daß nur ein Individuum "gewählt" wird, nimmt das Minimum dieser Funktion den Wert 0 an.

Um Gruppen von verschiedener Individuenzahl n und eventuell verschiedener Wahlzahl k miteinander vergleichen zu können, muß die Gruppenentropie EE auf einen reinen Zahlenwert zwischen Null und Eins normiert werden.

Die Normierung erfolgt im Fall a) durch die Formel

$$(2) \qquad EEN = \frac{EE_{max}(n) - EE(k,n)}{EE_{max}(n) - EE_{min}(k,n)}$$

und im Fall b) durch die (speziellere) Formel

$$(3) \qquad EEN = 1 - \frac{EE}{ld\ n}$$

Als Beispiel diene uns eine Gruppe von n = 6 Individuen mit der vorgegebenen Wahlzahl k = 2.

Es entsteht folgender quantitativ fixierter Strukturenkomplex:

	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	EE	EEN
1	0	0	0	2	5	5	1,483	1,00
2	0	0	0	3	4	5	1,554	0,94
3	0	0	0	4	4	4	1,585	0,91
4	0	0	1	1	5	5	1,650	0,85
5	0	0	1	2	4	5	1,784	0,73
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
27	1	1	2	2	3	3	2,459	0,11
28	1	2	2	2	2	3	2,522	0,06
29	2	2	2	2	2	2	2,585	0,00

Bei der folgenden Untersuchung wurde die Wahlzahl k = 2 zugrundegelegt, d. h. die Ergebnisse wurden nach der Formel (2) ausgewertet. (Für die Durchführung der Berech-

nungen danke ich Herrn Dr. Gunzenhäuser und Fräulein Verrel vom Recheninstitut der Technischen Hochschule Stuttgart).

§2 Soziometrische Untersuchungen an 147 Berliner Schulklassen

Im Sommersemester 1964 führte ich mit Studierenden der Pädagogischen Hochschule Berlin im Rahmen meines Oberseminars "Kommunikationsforschung" eine soziometrische Untersuchung an insgesamt 147 Berliner Schulklassen durch. Sämtliche untersuchten Klassen an Sonderschulen (HS), Grundschulen (GS), Oberschulen Praktischen (OPZ), Technischen (OTZ) und Wissenschaftlichen Zweiges (OWZ) und an Berufsschulen (BS) wurden nach denselben Kriterien getestet:

1. Neben welchem Klassenkameraden möchtest Du gern sitzen? (N+)
2. Neben wem möchtest Du nicht sitzen? (N-)
3. Mit welchen beiden Klassenkameraden möchtest Du bei einer Klassenfahrt in einem Zimmer wohnen? (R+)
4. Welche zwei Mitschüler sollen nicht in diesem Zimmer wohnen? (R-)
5. Wen würdest Du zum Klassensprecher wählen? (K)

Im einzelnen handelte es sich um folgende Schulen und Klassen:

Grundschulen:

Ludwig-Heck-Schule, Tempelhof; Klassen 2b, 2c, 3b, 3c, 4b, 4c, 5a, 5b, 5c, 6b.

Kiepert-Schule, Tempelhof; Klassen 3a, 3c, 4a, 4b, 4c, 4d, 5a, 5c, 5d, 6a, 6b, 6c.

Sonderschulen:

Elisabeth-Rotten-Schule, Tempelhof; Klassen 7a, 7b, 8a, 8b, 9a, 9b, 9c, 9d.

OPZ:

Ernst-Reuter-Schule, Wedding; Klassen 7a, 7b, 7c, 8b, 8c, 8d, 8B, 9a, 9c, $9A_1$, $9A_2$.

Isergebirgsschule, Schöneberg; Klassen $7a_1$, $7a_2$, $7a_3$, $7a_4$, $8a_1$, $8a_2$, $8a_3$, $8B_1$, $9a_1$, $9a_2$, $9a_3$.

Nikolaus-August-Otto-Schule, Steglitz; Klassen 7I, 7II, 7III, 7IV, 7B, 8I, 8II, 8III, 8 B, 9K.

OTZ:

Hugo-Gaudig-Schule, Tempelhof; Klassen 7a, 7b, 7c, 7d, 8a, 8b, 8c, 8d, 9a, 9b, 9c, 9d.

2. OTZ, Tempelhof; Klassen 7a, 7b, 7c, 8a, 8b, 8c, 9d,

Otto von Guericke-Schule, Wilmersdorf; Klassen 7a, 7b, 7c, $8s_1$, $8s_2$, $8m_1$, $8m_2$, $9s_1$, $9s_2$, $9m_1$, $9m_2$.

Rousseau-Schule, Wedding; Klassen 7a, 7b, 7c, 8a, 8b, 8c, 9a, 9b.

OWZ:

Leibniz -Schule, Kreuzberg; Klassen 7a, 7b, 7c, 8a, 8b, 9a, 9b.

Luise-Henriette-Schule, Tempelhof; Klassen 7a, 7b, 8a, 8b, 9m, 9s.

Eckener-Schule, Tempelhof; Klassen 7a, 7b, 8a, 8b, 9m, 9s.

Berufsschulen:

Wilhelm-Ostwald-Schule, Neukölln; 24 Klassen
Berufsschule für Augenoptiker, Schöneberg; 3 Klassen

Die Untersuchungen hatten den Zweck, die Abhängigkeit der Gruppenentropie vom Alter der Schüler, vom Bildungsgrad und von den Wahlkriterien in erster Näherung zu ermitteln. Die wichtigsten Ergebnisse sind im folgenden graphisch dargestellt, die dazugehörigen Berechnungen, die exakten Werte für EEN, sowie die Darstellung für die Klassen 7 und 8 bezüglich der verschiedenen Kriterien befinden sich an der Pädagogischen Hochschule Berlin.

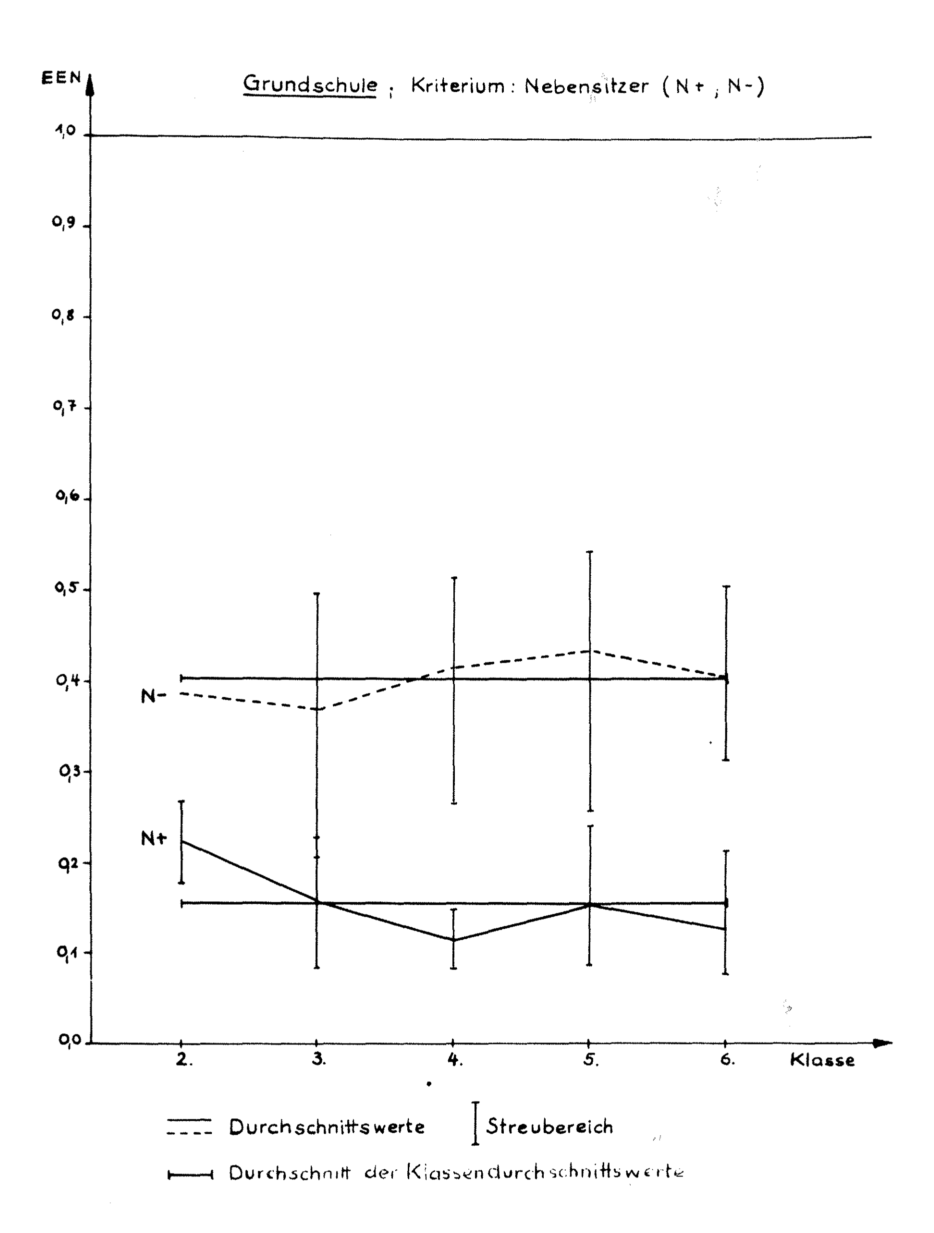
§ 3 Diskussion der Versuchsergebnisse

Die Testergebnisse zeigen, daß sich die Gruppenentropie in Verbindung mit soziometrischen Tests sehr gut zur Messung sozialer Strukturen eignet. Besonders deutlich zeigt sich die Abhängigkeit der Gruppenentropie von den Untersuchungskriterien. So liegen z.B. in den Figuren 1 bis 6 die Werte für N+, N-, R+, R- und K nicht nur in ihrem Durchschnitt sehr weit auseinander; es überschneiden sich teilweise nicht einmal die Streubereiche. Überhaupt ist es erstaunlich, wie wenig die Werte für die einzelnen Kriterien streuen.

Die Gruppenentropie vermag auch relativ feine Unterschiede bei den Kriterien zu erfassen; so lassen sich beispielsweise die Kriterien N und R (in der positiven und negativen Bewertung) mit Hilfe der Gruppenentropie eindeutig auseinanderhalten. (vgl. Fig. 7,8)

Im folgenden seien die wichtigsten Ergebnisse der Untersuchung angeführt:

1. Die Durchschnittswerte von N+ und N- sind bei allen untersuchten Klassen und Schultypen relativ konstant. Der Gesamtdurchschnitt für N+ beträgt EEN = 0,13, für N- EEN = 0,39. Der niedere Wert von N+ zeigt, daß der soziodynamische Effekt, d.h. die Abweichung von der Zufallsstruktur (Moreno, 1954) sehr klein ist; der relativ hohe Wert von N- hingegen bestätigt die These, daß die Ablehnungen innerhalb einer Gruppe sehr viel stärker differenziert sind als die positiven Wahlen. Auf eine Interpretation dieses



EEN
Grundschule ; Kriterium: Nebensitzer (N+ ; N-)
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
N-
N+
2.
3.
4.
5.
6.
Klasse
Durchschnittswerte
Streubereich
Durchschnitt der Klassendurchschnittswerte

Bild 1

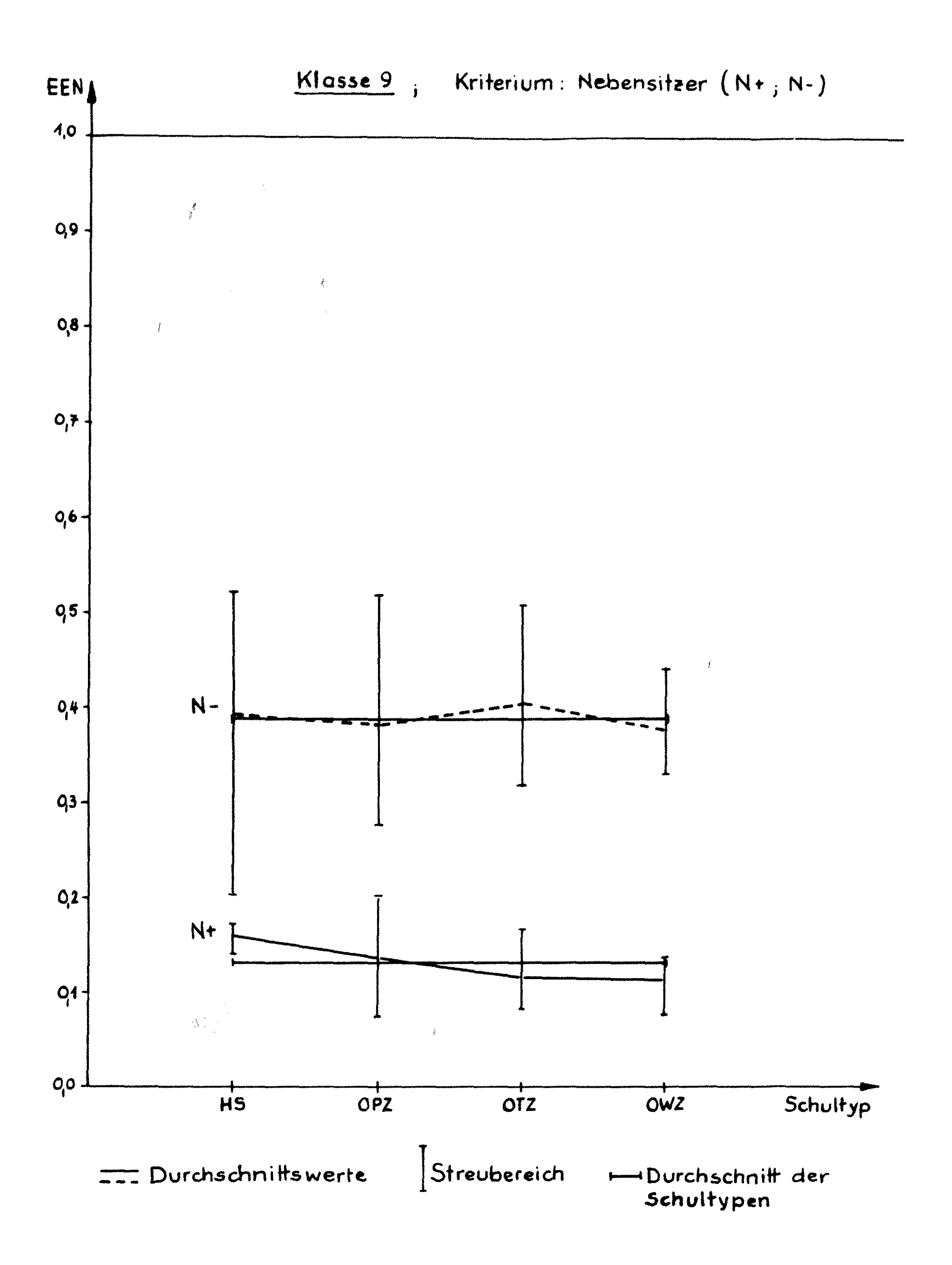

Klasse 9 ; Kriterium: Nebensitzer (N+ ; N-)
EEN
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
N-
N+
HS
OPZ
OTZ
OWZ
Schultyp
Durchschnittswerte
Streubereich
Durchschnitt der Schultypen

Bild 2

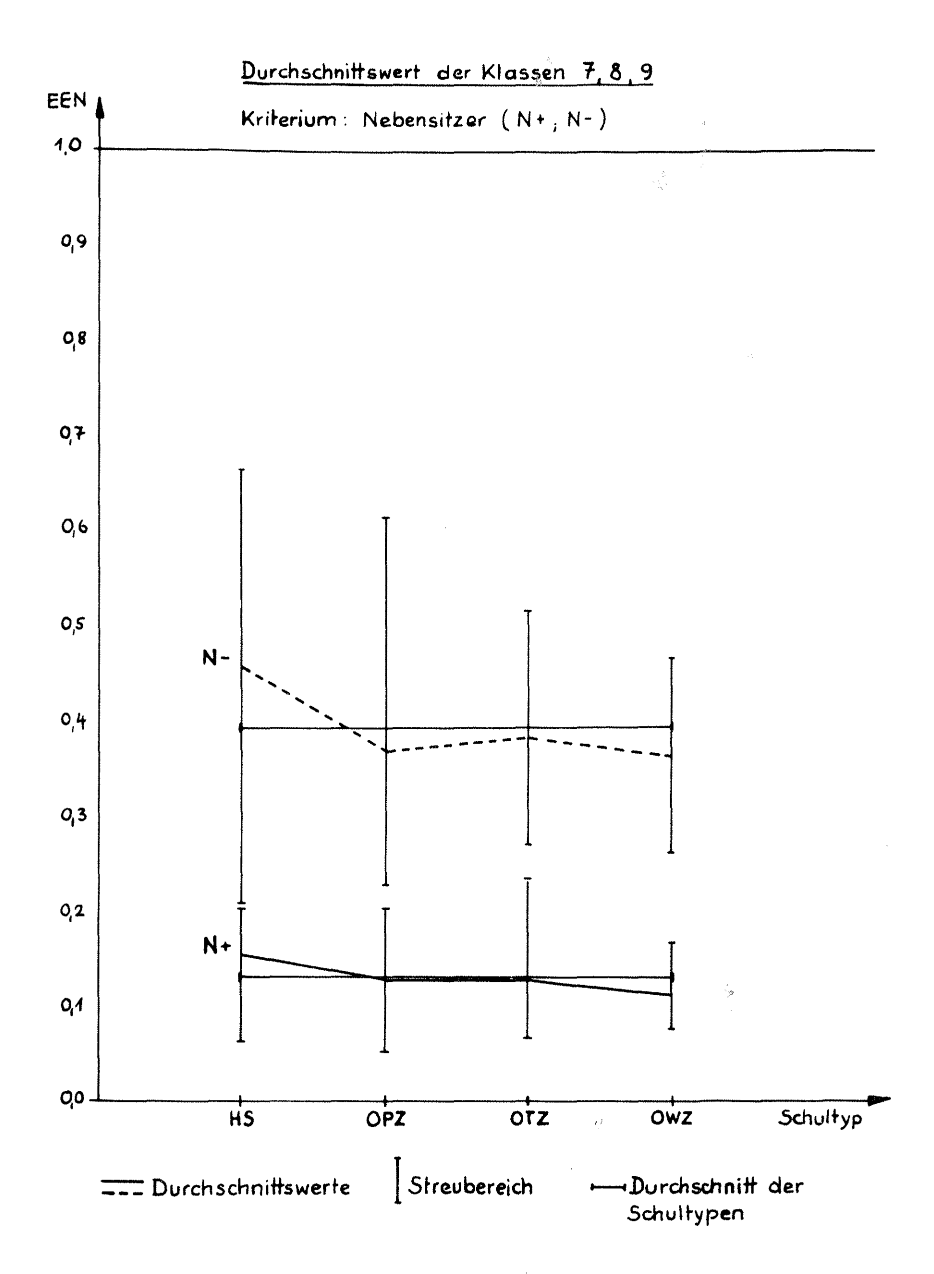

Durchschnittswert der Klassen 7, 8, 9
Kriterium: Nebensitzer (N+ ; N-)
EEN
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
N-
N+
HS
OPZ
OTZ
OWZ
Schultyp
Durchschnittswerte
Streubereich
Durchschnitt der Schultypen

Bild 3

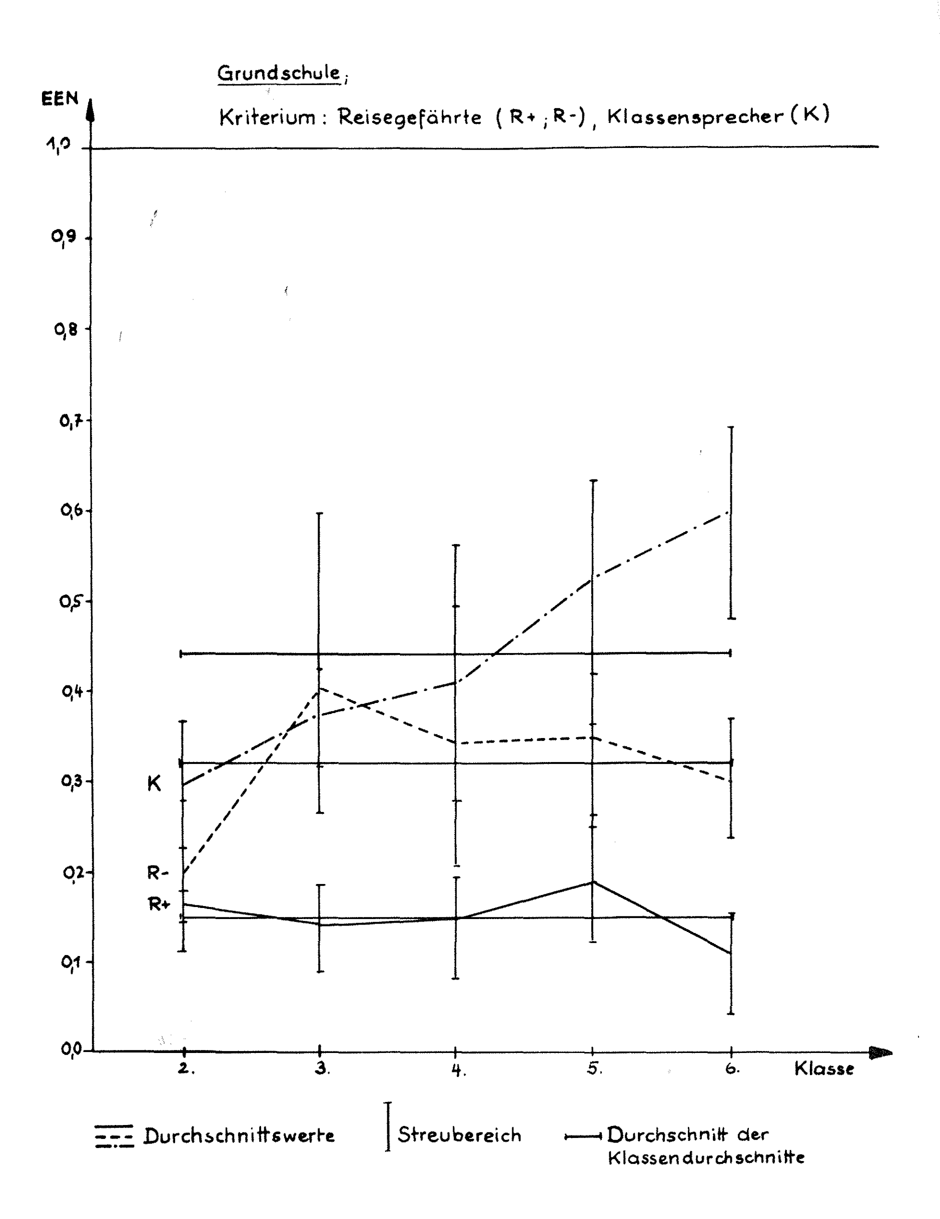

Grundschule;
Kriterium: Reisegefährte (R+ ; R-), Klassensprecher (K)
EEN
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
K
R-
R+
2.
3.
4.
5.
6.
Klasse
Durchschnittswerte
Streubereich
Durchschnitt der Klassendurchschnitte

Bild 4

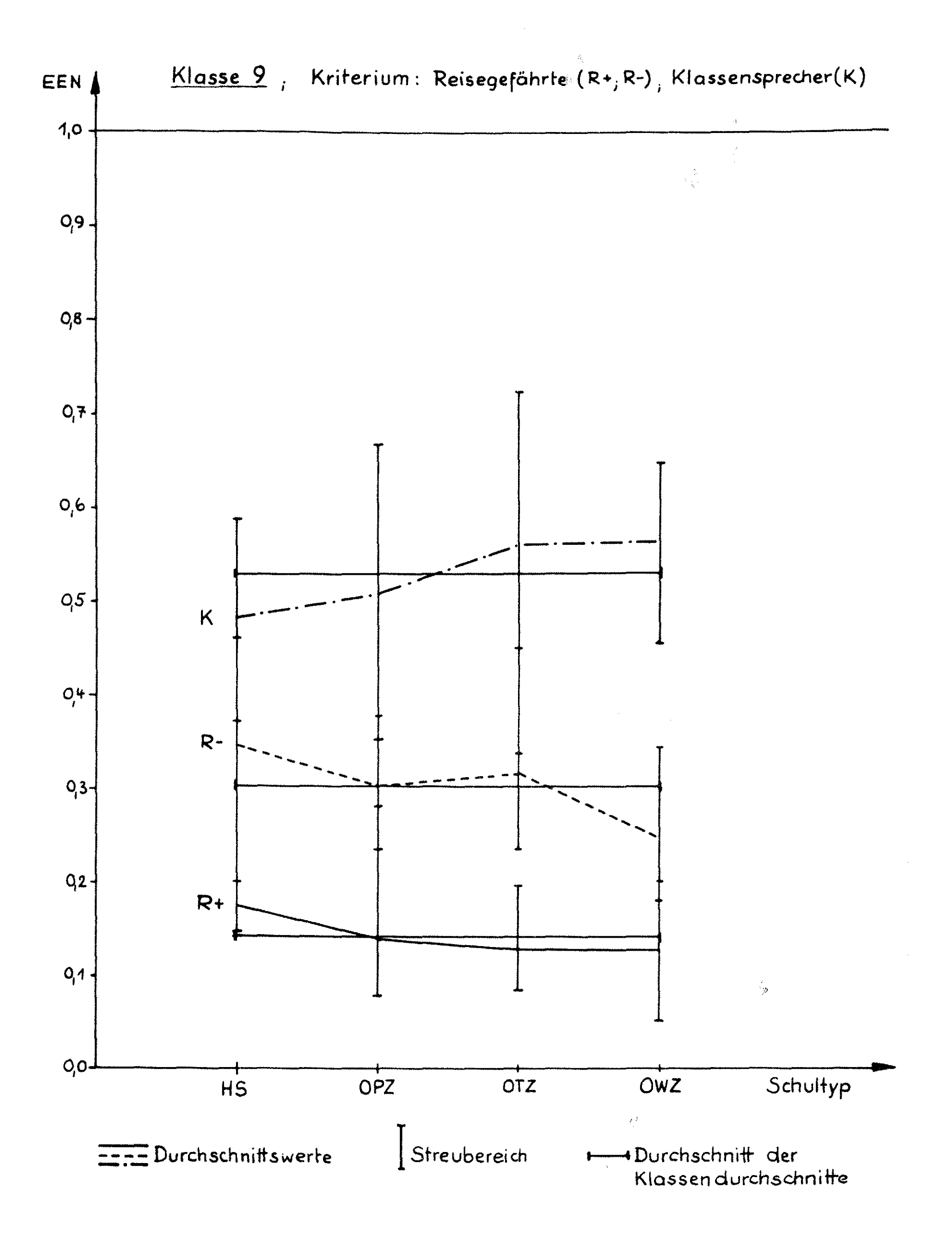

Klasse 9 ; Kriterium: Reisegefährte (R+; R-); Klassensprecher(K)
EEN
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
K
R-
R+
HS
OPZ
OTZ
OWZ
Schultyp
Durchschnittswerte
Streubereich
Durchschnitt der Klassendurchschnitte

Bild 5

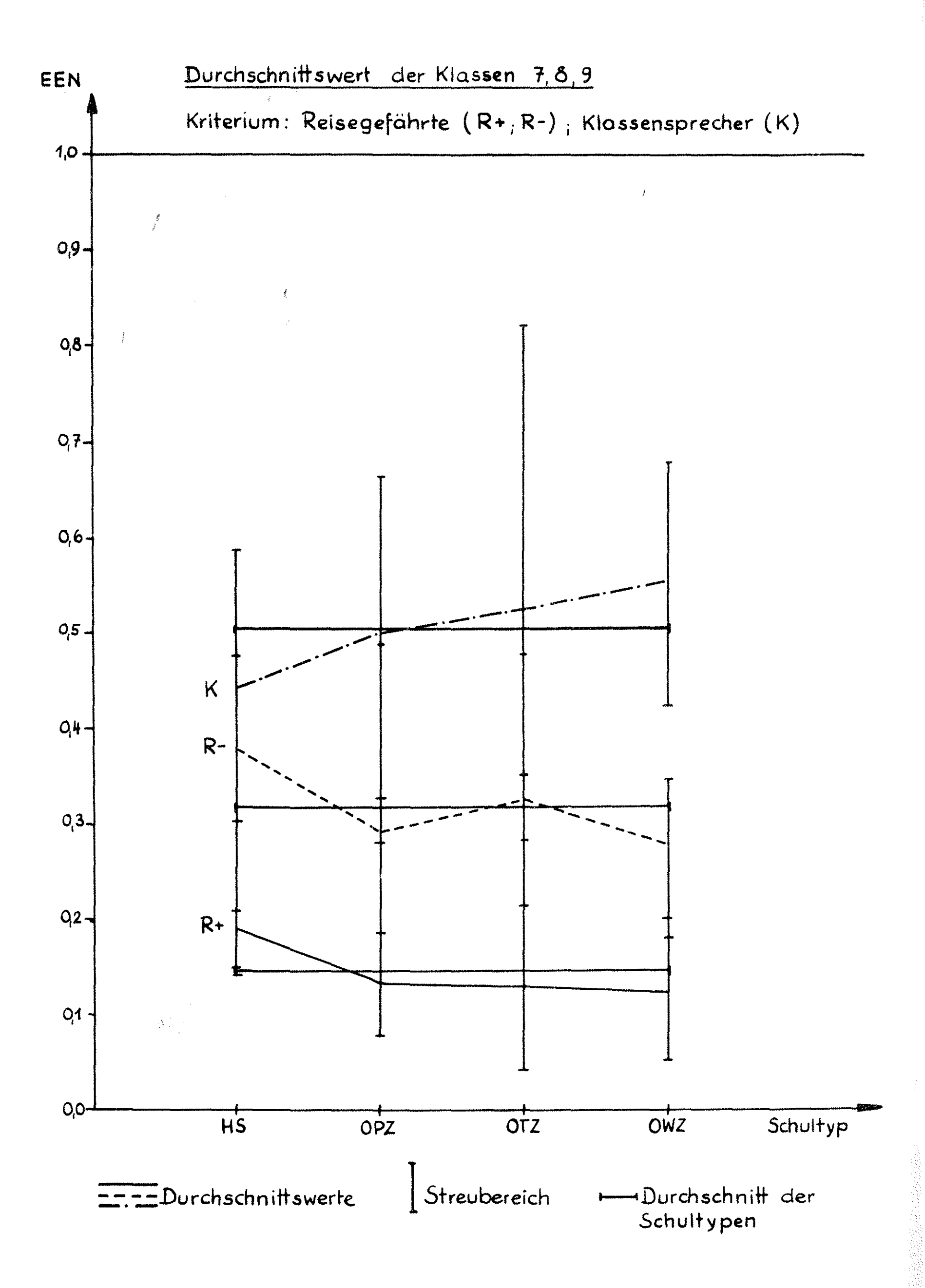

Durchschnittswert der Klassen 7, 8, 9
Kriterium: Reisegefährte (R+; R-); Klassensprecher (K)
EEN
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
K
R-
R+
HS
OPZ
OTZ
OWZ
Schultyp
Durchschnittswerte
Streubereich
Durchschnitt der Schultypen

Bild 6

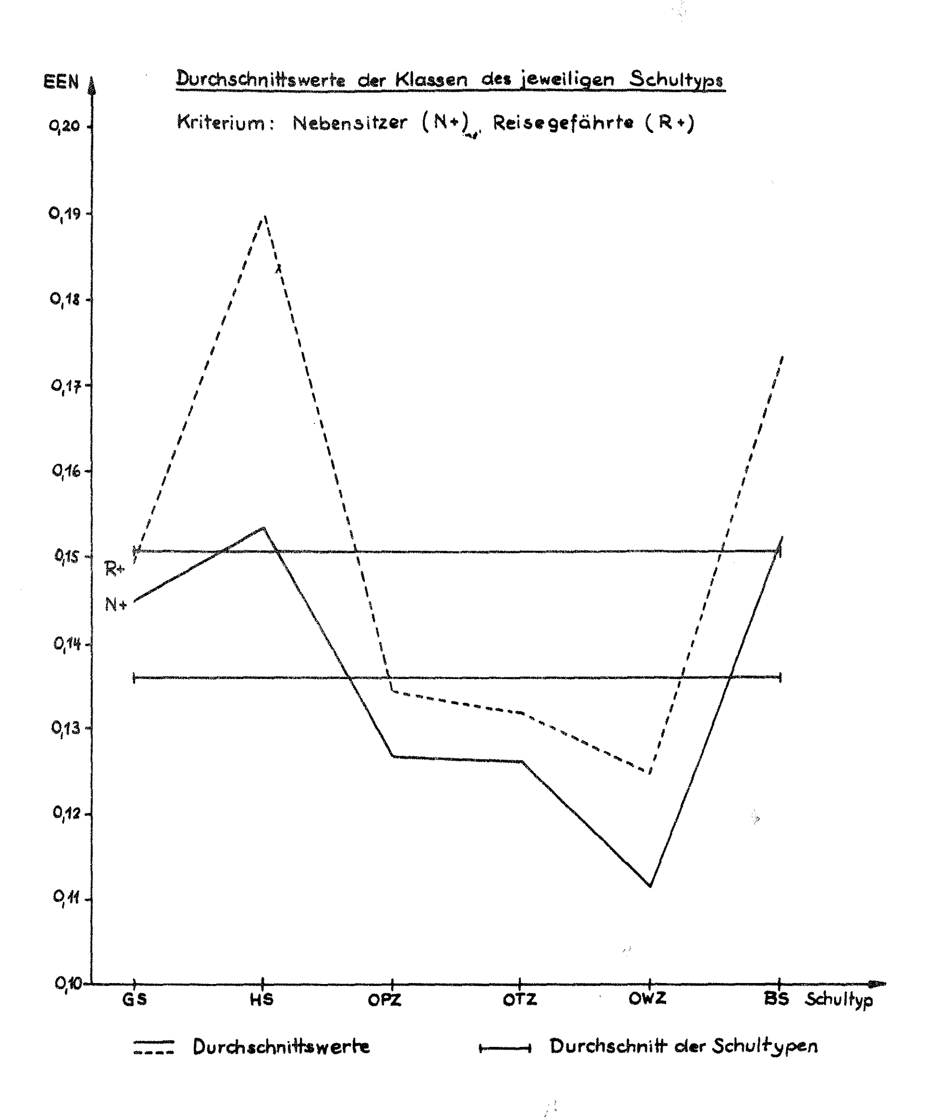

EEN
Durchschnittswerte der Klassen des jeweiligen Schultyps
Kriterium: Nebensitzer (N+), Reisegefährte (R+)
0,20
0,19
0,18
0,17
0,16
0,15
0,14
0,13
0,12
0,11
0,10
R+
N+
GS
HS
OPZ
OTZ
OWZ
BS
Schultyp
Durchschnittswerte
Durchschnitt der Schultypen

Bild 7

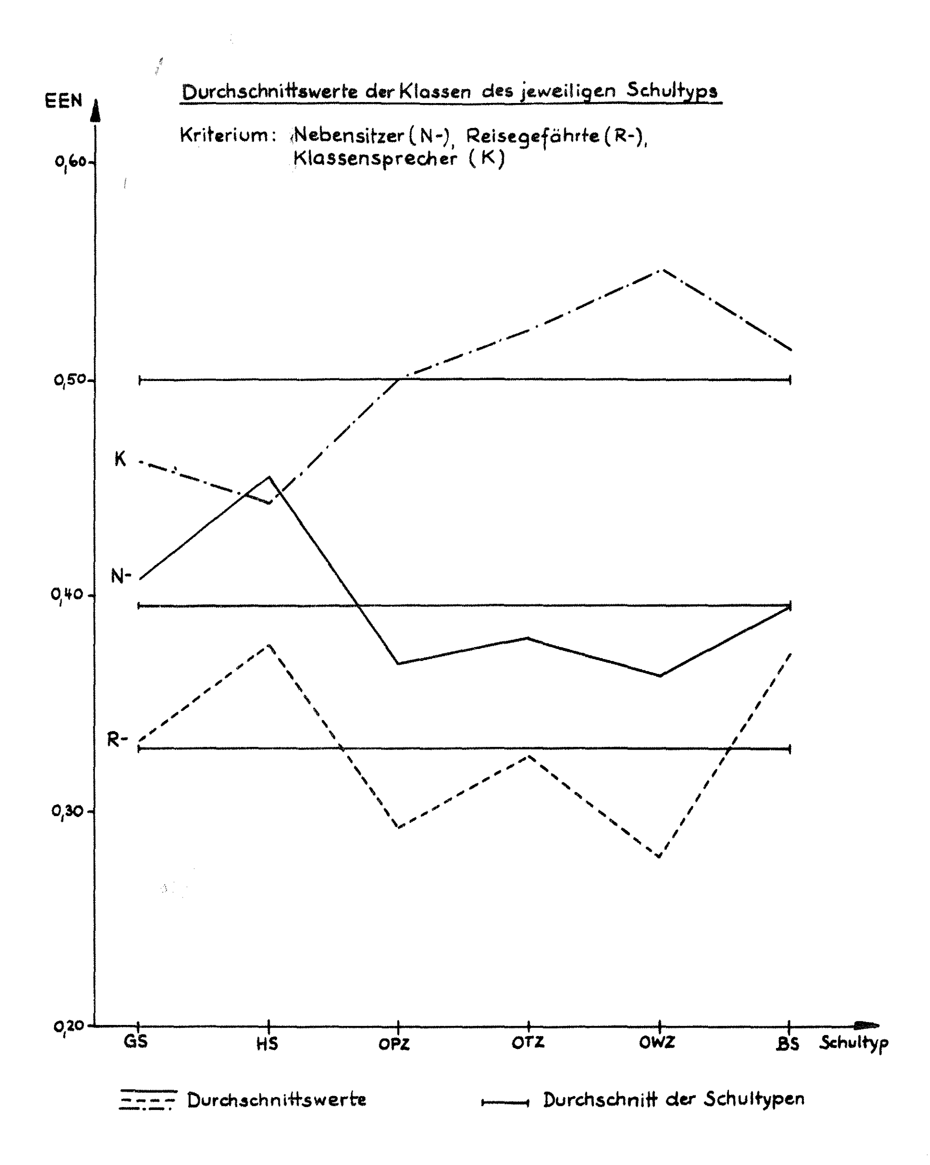

Durchschnittswerte der Klassen des jeweiligen Schultyps
Kriterium: Nebensitzer (N-), Reisegefährte (R-), Klassensprecher (K)
EEN
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
K
N-
R-
GS
HS
OPZ
OTZ
OWZ
BS
Schultyp
Durchschnittswerte
Durchschnitt der Schultypen

Bild 8

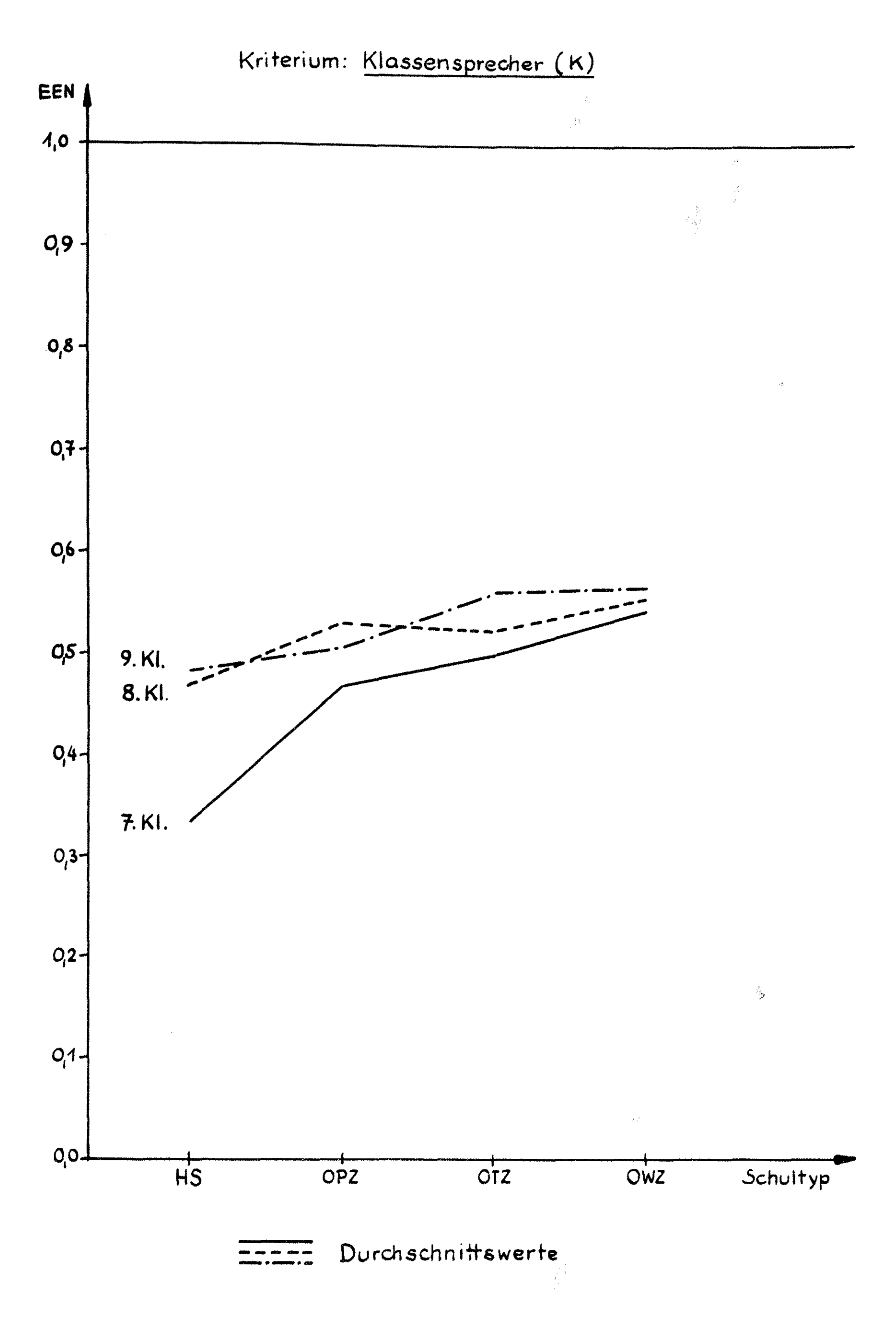

Kriterium: Klassensprecher (K)
EEN
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
9. Kl.
8. Kl.
7. Kl.
HS
OPZ
OTZ
OWZ
Schultyp
Durchschnittswerte

Bild 9

Sachverhaltes wollen wir im Rahmen dieser Arbeit nicht eingehen, es seien lediglich einige unmittelbar zu ziehende Folgerungen genannt:

Die hohe Konstanz der Durchschnittswerte von N+ und N- erlaubt eine exakte Bestimmung der "sozialen Normalität" einer Klasse bezüglich des betreffenden Kriteriums. Gewiß ist es ein gewohntes Bild, daß im allgemeinen Stars, Isolierte und Abgestoßene in einer Klasse auftreten; man konnte indessen bisher nicht angeben, welche Verteilung der Stars oder Abgestoßenen als "normal" anzusehen ist. Die vorliegende Untersuchung gibt einen vorläufigen Anhaltspunkt zur Feststellung starker Abweichungen von der "Normalverteilung" der Stars und Abgestoßenen.

Freilich bleibt die Frage offen, ob die gefundenen Durchschnittswerte vom pädagogischen Standpunkt aus ein erstrebenswertes Ziel charakterisieren. Hier müssen weitere Untersuchungen folgen, und zwar mit einer doppelten Intention: Einmal müssen Gruppen getestet werden, die man (nach irgendwelchen anderen Kriterien) als sozial optimal funktionierend bezeichnen kann, und zum andern muß untersucht werden, mit welchen pädagogischen Mitteln Strukturänderungen vorgenommen werden können.

2. Vergleicht man die Kriterien R+ und R- mit den Kriterien N+ beziehungsweise N- (vgl. Fig. 7,8), so verläuft die Kurve R+ leicht oberhalb, aber im wesentlichen parallel zu N+, für die Kurve R- gilt dasselbe mit umgekehrtem Vorzeichen. Wir wollen auch hier auf eine Interpretation verzichten, und lediglich die Tatsache festhalten, daß die Frage nach dem Reisegefährten zu einer stärkeren Differenzierung der positiven sozialen Struktur führt, hingegen zu einer schwächeren Differenzierung der negativen Beziehungen; dies bedeutet übrigens, daß bei dem Kriterium R- insgesamt mehr Individuen abgelehnt werden, als bei dem Kriterium N-.

3. Verfolgt man den Kurvenverlauf von N+ und R+ in Abhängigkeit vom Schultyp, so ergibt sich in der Reihenfolge abnehmender sozialer Differenzierung die Reihe HS, BS, GS, OPZ, OTZ, OWZ. Die soziale Struktur der OWZ fällt dabei schon fast in den Zufallsbereich hinein. Im wesentlichen entspricht auch der Kurvenverlauf von N- und R- dieser Reihenfolge der Schultypen. (Eine Interpretation dieses Ergebnisses wollen wir in § 4 versuchen.)

4. Die soziale Struktur bezüglich des Kriteriums "Klassensprecher" ist bei weitem am stärksten differenziert. Auffallend ist dabei, daß die Differenzierung mit dem Alter und im wesentlichen auch mit dem Bildungsgrad zunimmt. Als Reihenfolge zunehmender Differenzierung ergibt sich hier HS, GS, OPZ, BS, OTZ, OWZ. Die starke Differenzierung der Struktur K ist insofern nicht verwunderlich, als für den Klassensprecher aufgrund seiner speziellen Aufgabe nur verhältnismäßig wenig Schüler in Frage kommen.

Insgesamt wird man sagen können, daß mit zunehmendem Bildungsgrad eine Tendenz zur Gleichverteilung der positiven Wahlen bezüglich des Nebensitzers zu beobachten ist, während gleichzeitig eine stärkere Differenzierung hinsichtlich des Klassensprechers

erfolgt. Hinsichtlich der negativen Wahlen läßt sich ebenfalls mit zunehmendem Bildungsgrad eine solche Tendenz feststellen, wenn auch die absoluten Werte erheblich über den entsprechenden positiven bleiben.

In diesem Zusammenhang sind die Fragen aufzuwerfen, ob man auch umgekehrt von den sozialen Strukturen einer Klasse hinsichtlich der genannten Kriterien auf deren Bildungsgrad schließen kann, und ob es eventuell Methoden gibt, von einer Änderung der sozialen Struktur her das Bildungsniveau einer Klasse zu erhöhen.

§ 4 Versuch einer Interpretation

Versucht man, die Gründe für die gefundenen Ergebnisse aufzudecken, so kann man folgende Arbeitshypothese formulieren: Die Tendenz zur Gleichverteilung der Wahlen steigt mit der Anzahl der vorhandenen Motive, d. h. je mehr Wahl- (oder Ablehnungs-) Motive existieren, desto niedriger wird EEN und umgekehrt. Gehen wir weiter von der Annahme aus, daß die Anzahl der Wahlmotive mit dem Bildungsgrad zusammenhängt, so lassen sich die Ergebnisse von einem einheitlichen Gesichtspunkt aus erklären: Beispielsweise wäre es zu erklären, daß die Kurven in Figur 7 den aufgezeichneten Verlauf nehmen; während nämlich der Hilfsschüler seine Mitschüler im wesentlichen nach den Kategorien "Freund" und "Feind" einteilt, werden beim Schüler der OWZ neben reinen Sympathie- und Antipathiebeziehungen auch andere Motive für die Wahl seines Nebensitzers relevant (z.B. gute Leistungen in irgendeinem Fach, gemeinsame Interessen, Helfenwollen, Unterhaltung usw.).

Die genannte Arbeitshypothese erklärt auch die Kurven in Figur 8: die Ablehnungen erfolgen mit zunehmendem Bildungsgrad überlegter; es finden sich mehr Motive und demzufolge verteilen sich die Ablehnungen gleichmäßiger. Ein besonders deutliches Indiz für die genannte Arbeitshypothese läßt sich aus Figur 9 erkennen: während der Hilfsschüler eher geneigt ist, seinen Freund auch als Klassensprecher zu wählen, ist sich der Schüler der OWZ über die besondere Aufgabe des Klassensprechers sehr viel mehr im klaren. Die Wahl des Klassensprechers erfolgt bei ihm aufgrund von wenigen klar erkannten Motiven.

Mit der Motivhypothese läßt sich auch eine Interpretation der Kurven R+ und R- im Verhältnis zu den Kurven N+ und N- angeben: Der Hypothese entsprechend würde es für die Wahl des Reisegefährten weniger Motive geben als für die Wahl des Nebensitzers - ein Sachverhalt, der wegen des Wegfalls verschiedener rationaler Wahlmotive durchaus plausibel ist. Das Verhältnis von N und R im negativen Bereich ergänzt diese Annahme sinnvoll: Für die Ablehnung des Reisegefährten gibt es mehr Motive als für die Ablehnung des Nebensitzers (eine Annahme, die selbstverständlich noch einer Verifizierung bedarf).

Die Hypothese von der Abhängigkeit der Gruppenentropie von der Anzahl der Wahlmotive (im negativen oder positiven Sinne) könnte auch noch von einer anderen Seite her Unterstützung erhalten: Es ist denkbar, daß sich die Anzahl der Wahlmotive in eine unmittelbare mathematische Beziehung zur Gruppenentropie setzen läßt.

Schrifttumsverzeichnis:

von Cube, Felix/ Gunzenhäuser, Rul: Über die Entropie von Gruppen, Schnelle, Quickborn, 1963

Moreno, J. L.: Die Grundlagen der Soziometrie, Westdeutscher Verlag, Köln und Opladen, 1954

Eingegangen am 26. November 1964

ZUR FORMALISIERUNG VON LERNBEGRIFFEN (I)

von Karl E c k e l, Altenstadt

J.R.H. Deutsch (1964) vermißt in dem von Frank (1964) gegebenen Begriff des Lehrprogramms das Merkmal des Lernerfolgs. Nach Deutsch (und anderen) kann dieser mit Hilfe eines "Lernerfolgstests" "exakt" beschrieben werden.

Es soll hier versucht werden, die Begriffe: L e r n z u s t a n d u. T e s t; L e r n v o r g a n g (Lernprozeß) u. P r o g r a m m (Wirksamkeit eines Programms) formal zu definieren. Es lassen sich dann ohne Schwierigkeit ("exakte") zweckmäßige Definitionen des "Lernerfolgs" geben.

1. D e r L e r n z u s t a n d

Einen Lernzustand beschreiben wir auf der Grundlage eines (Test-Fragen-)Repertoires

(1) $$f = \{ f_1, f_2, \dots , f_r \} .$$

a) Der Lernzustand e i n e s Lernenden

Zu jeder Frage gebe es eine und nur eine richtige Antwort. x_i bezeichne das Ereignis, daß f_i richtig und $\bar{x}_i$ das Ereignis, daß f_i nicht richtig beantwortet wurde. Zu jeder Frage f_i gibt es also zwei mögliche Ereignisse x_i und $\bar{x}_i$; $i = 1, 2, 3, \dots, r$. Mit Hilfe von x_i und $\bar{x}_i$ können wir bezüglich der GESAMTHEIT der Fragen (des Tests) ein VOLLSTÄNDIGES System von ELEMENTAREREIGNISSEN (Individualzuständen) X_k derart bilden, daß sich ein (jeder der) Schüler in g e n a u e i n e m dieser Zustände befindet. X_o bezeichne z.B. den Zustand, der dadurch bestimmt ist, daß keine Frage richtig beantwortet wird:

$$X_o = \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \dots \bar{x}_r$$ [1] .

Der Zustand, der durch die richtige Beantwortung der Fragen $f_{k_1}, f_{k_2}, f_{k_3}, \dots , f_{k_v}$ und die nicht richtige Beantwortung der Fragen $f_{k_{v+1}}, \dots , f_{k_r}$ gekennzeichnet ist,

1) AB = A . B heißt Produkt aus A und B und bezeichnet das Ereignis, das stattfindet, wenn sowohl A als auch B stattfindet.

wird beschrieben durch

$$x_{k_1} x_{k_2} x_{k_3} \dots x_{k_v} \bar{x}_{k_{v+1}} \bar{x}_{k_{v+2}} \dots \bar{x}_{k_r} .$$

Schließlich wird die richtige Beantwortung sämtlicher Fragen durch

$$X_{n-1} = x_1 x_2 \dots x_r$$

angegeben. Insgesamt gibt es

$$n = 2^r$$

solcher Elementarereignisse oder (sich gegenseitig ausschließender) Zustände (2^r Variationen von 2 Elementen zur r-ten Klasse).
Es gilt

$$X_k X_{k'} = O \qquad (k \neq k')$$

(es findet höchstens ein Elementarereignis statt) und

$$X_o + X_1 + \dots X_{n-1} = I$$

(es findet mindestens ein Elementarereignis statt). O bezeichnet das unmögliche, I das sichere Ereignis. (Die Summe zweier Ereignisse wird interpretiert als das Ereignis, das stattfindet, wenn mindestens eins davon stattfindet.)

b) Den Lernzustand einer Gesamtheit (Population, Kollektiv) von N Lernenden (Adressaten) erhalten wir, indem wir jedem Individualzustand X_s eine Zahl

$$p_s = \frac{N_s}{N}$$

derart zuordnen, daß N_s gleich der Anzahl der Lernenden ist, die sich im Zustand X_s befinden.

$$\sum_{s=o}^{n} N_s = N; \qquad o \leq p_s \leq 1.$$

Die Gesamtheit der Zahlen p_s

$$\mathfrak{p} = \{p_o, \dots, p_n\}$$

definiert den Lernzustand der Population.

c) Bezüglich der Begriffe Anfangs- und Endzustand sei darauf hingewiesen, daß erstens - gemäß b) - alle Zustände, also auch Anfangs- und Endzustand auf derselben Menge (Anfangstest gleich Endtest!) $\{ X_o, \dots , X_n \}$ definiert sind und daß zweitens die Termini "Anfang" und "Ende" (vorerst) nur intuitiv bestimmt sind, weil die Abhängigkeit der Zustandsgröße $\mathfrak{p}$ von der Zeit t (vorerst) außer acht gelassen wird.

2. Der Lernvorgang (Lernprozeß)

Im Lernprozeß wird ein Anfangszustand

$$\mathfrak{p} = \{ p_o , \dots , p_n \}$$

in einen Endzustand

$$\mathfrak{p}' = \{ p_o' , \dots , p_n' \}$$

übergeführt. Diese Überführung (oder: dieser Lernprozeß) wird beschrieben durch die Matrizen

$$P = \begin{pmatrix} P_{oo} & \dots & P_{on} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{no} & \dots & P_{nn} \end{pmatrix} ; \quad T = \begin{pmatrix} T_{oo} & \dots & T_{on} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ T_{no} & \dots & T_{nn} \end{pmatrix}$$

($T_{\mu\nu}$: Mittlere Zeit der Übergänge von X_ν nach X_μ.)

derart, daß

(2) $$\mathfrak{p}' = \mathfrak{p} \cdot P$$

ist. Die Komponenten von $\mathfrak{p}'$ werden gemäß

$$p_\nu' = \sum_{\mu=o}^{n} P_{\mu\nu} \cdot p_\mu , \quad (\nu = o, \dots , n)$$

bestimmt.

3. Zusammenhang zwischen Programm und Test

Die Grundgleichung (2) kann dazu benutzt werden, die Begriffe "Test" und "Programm"

relativ zueinander - implizit - zu definieren: Wenn

$$\mathfrak{p}' = \mathfrak{p} \cdot P$$

für alle $\mathfrak{p}$ und für alle Populationen, dann nennen wir
(I) die Menge $\{ f_1, \ldots, f_r \}$ einen "idealen" Test bezüglich P;
(II) P Matrix des "idealen" Programms - oder kurz: P-Matrix - bezüglich der Menge $\{f_1, \ldots, f_r\}$.

4. Erläuterungen der Grundgleichung (2) an einem Beispiel:

Der Test bestehe aus lediglich einer einzigen Frage f_1, also $f = \{ f_1 \}$. Es gibt dann nur die Individualzustände $X_o = \bar{x}_1$ und $X_1 = x_1$, d.h. der Schüler beantwortet entweder die Frage falsch (oder überhaupt nicht) oder richtig.

Es sei $p_o = 50\ \%$, $p_1 = 50\ \%$; $p_o' = 25\ \%$, $p_1' = 75\ \%$

$\mathfrak{p}$ \ $\mathfrak{p}'$	25 %	75 %
50 %	P_{oo}	P_{o1}
50 %	P_{1o}	P_{11}

Aus den durchgeführten Tests entnähmen wir weiterhin:

$$P_{oo} = 0,5, \quad P_{o1} = 0,5, \quad P_{1o} = o, \quad P_{11} = 1.$$

Die P-Matrix sieht dann so aus:

$$P = \begin{pmatrix} o,5 & o,5 \\ o & 1 \end{pmatrix}$$

Wir betrachten jetzt eine andere Gesamtheit, die dasselbe Programm durchgearbeitet hat. Der Anfangstest (der gleiche wie oben) habe den Anfangszustand $p_o = 30\ \%$ und $p_1 = 70\ \%$ ergeben. Mit Hilfe der oben bestimmten P-Matrix erhalten wir theoretisch $p_o' = 15\ \%$ und $p_1' = 85\ \%$:

$\mathfrak{p}$ \ $\mathfrak{p}'$	15 %	85 %
30 %	1/2	1/2
70 %	o	1

Haben wir aufgrund eines tatsächlich durchgeführten Tests einen anderen als den eben berechneten Endzustand erhalten, so können wir sagen:

Erstens: $\{f_1\}$ ist kein Test für P (dieser Test ist zu grob: wir müssen r und damit n hinreichend groß machen)

oder:

Zweitens: P ist kein Programm für $\{f_1\}$ (das Programm ist "unspezifisch", zu "breit", zu "unscharf"; es hat zu wenig Lerneinheiten u.s.w.: Es muß so abgeändert werden, daß es die Grundgleichung erfüllt)

oder:

Drittens: Die Population war zu klein (wir müssen N hinreichend groß machen!)

oder:

Viertens: Obwohl Test, Programm und Population für geeignet gehalten werden, wird die Auffassung vertreten, daß die Beschreibung des Anfangszustands durch den Vektor $\mathfrak{p}$ unzureichend sei.
Lernvoraussetzungen erschöpften sich nicht in der Beschreibung eines Zustands zu einer bestimmten Zeit, man müsse auch den zurückgelegten Lernweg - die "Lerngeschichte" - berücksichtigen.

5. Zu Nr. 4, Einwand 4:

Diesem letzten Einwand kann abgeholfen werden, indem wir die "Lernvergangenheit" ebenfalls formalisieren:
Wir verlangen nicht nur die Angabe des Anfangszustands $\mathfrak{p}$, sondern darüber hinaus, daß dieser Zustand auf eine "bestimmte" Weise zustande gekommen ist. Wir fordern:

$$\mathfrak{p} = \mathfrak{p}_{-1} P_{-1}$$

$\mathfrak{p}_{-1}$ charakterisiert einen früheren Lernzustand und P_{-1} den Lernprozeß, der $\mathfrak{p}_{-1}$ in $\mathfrak{p}$ übergeführt hat.

Die Lernvergangenheit kann sukzessive "bestimmter" gefaßt werden, indem weitere "Programme" $P_{-2}, \dots, P_{-k}$ "vorgeschaltet" werden.

Da das Produkt $P_{-1}, \dots, P_{-k}$ durch eine Matrix $P_{\dots}$ ersetzt werden kann, folgt, daß auch die Lernvergangenheit in Beziehung (2) berücksichtigt ist.

In einer weiteren Arbeit sollen

1. die hier angegebenen Begriffe mengen- und wahrscheinlichkeitstheoretisch präzisiert und Erweiterungen für $r \to \infty$, $N \to \infty$ und $k \to \infty$ angegeben werden;
2. die zeitabhängige Beziehung $\mathfrak{p}(t) = \mathfrak{p}_o \cdot \mathrm{P}(t)$ interpretiert und
3. "reduzierte" P-Matrizen und mit ihrer Hilfe "praktische" Programm-Definitionen gegeben werden.

Eingegangen am 30. November 1964

Schrifttumsverzeichnis

Frank, Helmar: Anregungen zur Terminologie auf dem Gebiet der Lehrobjektivierung. In: Lehrmaschinen in kybernetischer und pädagogischer Sicht, 2, Klett-Oldenbourg, Stuttgart u. München, 1964, S. 143 ff.

Deutsch, J.R.H.: Zur "Programmierung" von Sprachlehranlagen. In: Mitteilungen über Programmierte Instruktion, 1964/ Heft 5

WAHRNEHMUNGSANALOGE METRISCHE KORREKTURMECHANISMEN

von H.-G. Geißler, Berlin

1. Einführung

Ein grundlegendes, bisher nicht effektiv simulierbares Charakteristikum menschlicher Wahrnehmung besteht in der Objekthaftigkeit des Wahrnehmungsresultates, d. i. in der Tatsache, daß alle unterschiedenen Teile und Eigenschaften einer physikalischen Konfiguration nicht isoliert "erkannt" werden, sondern uns als zu einem Ganzen, eben dem "Objekt" gehörig, zum Bewußtsein kommen. Am deutlichsten tritt das, wahrscheinlich wegen der hohen Simultaneität der ablaufenden Verarbeitungsprozesse und der dominierenden Orientierungsfunktion, im visuellen Bereich zu Tage. Notwendige (natürlich keineswegs hinreichende) Bedingungen für eine solche Struktur von Erkennungsprozessen bilden die Forderungen, daß a) die auf einer beliebigen Stufe des Vorganges an einem Objekt unterschiedenen Merkmale und Teile jederzeit "in sich" zugeordnet werden können (z.B. einem Kreis die Farbe rot) und b) alle prüfbaren Relationen miteinander verträglich sind (also z.B. die Eigenschaften "gerade" und "gleich gerichtet" zweier Linien mit den beobachteten Abstandsbeziehungen). Wir wollen beide Voraussetzungen **Zuordenbarkeit** und Konsistenz, zu denen sicher noch weitere treten, unter dem Begriff der "totalen Kohärenz" zusammenfassen.

Unabhängig von der Kenntnis effektiver Umkodierungsmechanismen, die diese Bedingungen erfüllen, kann vieles für die Vermutung angeführt werden, daß kohärente Prozesse die Existenz eines "**Primärabbildes**" des wahrgenommenen Objektes voraussetzen. Dieses Abbild, das Züge einer analogen Nachbildung besäße und gleichsam ein "inneres Beobachtungsobjekt" darstellte, an dem die heuristischen Prozesse der Wahrnehmung ihre "Daten" gewinnen, müßte mindestens alle unterscheidbaren Einzelheiten eines aktuellen Wahrnehmungsobjektes in unklassifizierter Form repräsentieren.

Ein Kardinalproblem, durch dessen Analyse über die Richtigkeit dieser Vorstellung wahrscheinlich einmal streng entschieden werden kann, ist die Genese der räumlich-metrischen Wahrnehmung, insbesondere ihre Readaption bei Brillenversuchen. Wir wollen im Folgenden versuchen, durch Betrachtung viel einfacherer, aber in ihrem Wesen verwandter Modellsituationen die Relevanz dieses Problembereiches für unsere Fragestellung zu bekräftigen und darüber hinaus einige heuristische Einschränkungen, denen Modelle von Wahrnehmungsprozessen genügen müssen, zu gewinnen.

2. Formulierung des Modellproblems

Technische oder mathematische Realisierung von Zuordnungsprozessen setzen bisher gewöhnlich voraus, daß der Vorgang der Abbildung auf die Eingangselemente des Systems räumlich unveränderlich ist und definierte metrische Linearitätseigenschaften besitzt (z.B. äquidistante Abtastung bei der nichtdigitalen Lernmatrix, K. Steinbuch, H. Frank

1961). Obgleich die Identifizierung von Symboldarstellungen eines geeigneten Inventars, etwa durch die Bildung von Momentinvarianten, in gewissen Grenzen auch gegen nichtlineare Transformationen unempfindlich gemacht werden kann, ergeben solche Systeme daher keine Analogie für metrische Readaptionsprozesse. Betrachtet man total kohärente Prozesse, so wirkt sich eine "Verzerrung" des Primärabbildes offenbar wie eine echte Veränderung der abgebildeten Konfiguration aus, und ohne eine dem System eingegebene (evtl. sehr allgemeine) Vorinformation ist eine Korrektur überhaupt unmöglich.

Zur Lösung dieses Problems sind gegenwärtig zwei Wege zu erkennen: Einmal ist es denkbar, daß die "richtige" Identifizierung an ausgezeichneten Konfigurationen erlernt wird. In diesem Falle würden die Korrektur-Informationen also auf einem Niveau "oberhalb" des Primärabbildes gewonnen. In statistisch homogenen Medien dürfte eine Korrektur mithin nicht stattfinden. Zum anderen wäre es möglich, daß gewisse, nichtfigurale (wahrscheinlich statistische) Eigenschaften der Musterfeinstruktur den Ausgangspunkt bilden, die Korrekturprozesse also "unterhalb" des Primärabbildes ablaufen. Wäre dies ausschließlich der Fall, so dürfte eine Korrektur bei fester Darbietung großflächiger, geometrisch-regelmäßiger Figuren nicht erfolgen. Der ersten Alternative entspricht die Hypothese J. R. Platt's (1962), die von der Prüfung sog. selbstkongruenter Muster ausgeht. Aber abgesehen von der Bedeutsamkeit, die ein ähnlicher Mechanismus für die aktuelle Detektion ausgezeichneter Konfigurationen, besonders von Geraden, vermutlich besitzen dürfte, ist vorläufig schwer zu sehen, wie eine relativ stabile Metrik innerhalb des gesamten Wahrnehmungsraumes auf eine analoge Weise konstituiert werden könnte, da (wenn man schon vom Problem der Vorinformation absieht) nur in der natürlichen Umgebung des Menschen nicht vorkommende Muster, z.B. regelmäßige Gitter, eine bis auf die Grundtoleranz des Musters eindeutige Festlegung der Metrik erzwingen.

Bei der Durchführung der Alternativhypothese kann man etwa von der Annahme homogener statistischer Textureigenschaften der abgebildeten Umgebung ausgehen und einen Zuordnungsmechanismus postulieren, der im Primärabbild die Dichtehomogenität wiederherstellt. Neben anderen Schwierigkeiten hat diese Annahme jedoch den Nachteil, daß erst eine über beträchtliche Zeiten hinweg erfolgende Mitteilung sukzessiver Situationen zu befriedigenden Ergebnissen führen könnte, während unter bestimmten (in der Umgebung des Menschen keineswegs seltenen) Bedingungen sogar ein grob falsches Korrekturergebnis zustande käme.

Wir wollen zu zeigen versuchen, daß dieser Nachteil durch eine dynamische Theorie vermieden werden kann.

3. Ein kinematischer Ansatz

Die natürliche Umgebung des Menschen zeigt außer statistischen Eigenschaften umfangreicher "Situations"-Stichproben auch strenge Regelhaftigkeiten in der Zeitabfolge von Umgebungszuständen, die zu einer Rekonstruktion ihrer Geometrie "ausgenutzt" werden

können. So darf zwar kaum angenommen werden, daß allgemeine, den Lagrange-Gleichungen entsprechende mechanische Eigenschaften in den Mechanismus der Wahrnehmung eingehen können, wohl aber eine so bedeutsame Tatsache wie die, daß die Umgebung fast ausschließlich mehr oder minder ideal starre Körper enthält. Unterstellt man zur Vereinfachung des Problems, daß 1. nur "Rezeptor"-Bewegungen stattfinden, die entsprechenden Bewegungen der gesamten "Umgebung" gleichwertig seien, 2. die Umgebung beliebig viele unterscheidbare Einzelheiten im gesamten Raum enthält, 3. der dem "Sehraum" entsprechende Bildraum eine euklidische Metrik besitzt, so kann folgendes einfache Modell betrachtet werden: Es seien x_1, x_2, x_3 kartesische Koordinaten im objektiven Raum X, y_1, y_2, y_3 im Bildraum Y. Durch

$$(1) \qquad \begin{aligned} y_i &= \varphi_i(x_1, x_2, x_3) \\ x_j &= \psi_j(y_1, y_2, y_3) \end{aligned}$$

mit stetig differenzierbaren φ_i, sei eine umkehrbar eindeutige Abbildung von X auf Y gegeben. Der Bewegung aller starr miteinander verbundenen Objekte, die jedem Punkt in X einen Geschwindigkeitsvektor $\sum n_i v_i(t)$ zuordnet, entspricht in Y das Vektorfeld

$$\mathfrak{v}(y,t) = \sum_j n_j \cdot \Big(\sum_i \frac{\partial \varphi_j}{\partial x_i} \cdot v_i(t)\Big) \equiv \sum_j n_j \Big(\sum_i \psi_{ij}(y_1, y_2, y_3) \cdot v_i(t)\Big)$$

wobei ψ_{ij} gemäß $\frac{\partial \varphi_j}{\partial x_i} = \Phi_{ij}(\psi_1(y), \psi_2(y), \psi_3(y)) \equiv \psi_{ij}(y_1, y_2, y_3)$ mit (1) zusammenhängt. Die Abweichung des Feldes von der Stationarität ist durch die Tensorfeldkomponenten

$$(2a) \qquad v_{kl}(y) = \frac{1}{2} \sum_m v_m(t) \cdot \Big(\frac{\partial \psi_{km}}{\partial y_l} + \frac{\partial \psi_{lm}}{\partial y_k}\Big)$$

und

$$(2b) \qquad r_{kl}(y) = \frac{1}{2} \sum_m v_m(t) \cdot \Big(\frac{\partial \psi_{km}}{\partial y_l} + \frac{\partial \psi_{lm}}{\partial y_k}\Big)$$

bestimmt, wobei v_{kl} ein Maß der "Verzerrungsgeschwindigkeit" darstellt. Da die Komponenten v_{kl} die Form eines Produktes aus einer reinen Zeitfunktion und einer reinen Ortsfunktion haben, ist es möglich, zeitunabhängige Ausdrücke zu bilden, die dann als Maß der Verzerrung durch die Abbildung dienen können. Hieraus ergibt sich für die Korrektur die Aufgabe, entweder die Metrik in Y oder die der Abbildung (1) entsprechende Zuordnung so zu verändern, daß der Betrag der Verzerrung beständig verkleinert wird.

Im Folgenden seien die $v_i(t)$ zur Vereinfachung des Problems im allgemeinen konstant angenommen.

4. Halbstetige und diskrete Modelle

Die gegebene Korrekturvorschrift enthält als bisher unausgesprochene Voraussetzung,

daß der Ablauf der Prozesse der Umgebung und der der "inneren" Prozesse vom gleichen objektiven Zeitparameter getragen wird, d.h. allein durch das Erhaltenbleiben der zeitlichen Metrik ist ein Prozeß-Kriterium zur "Rekonstruktion" der Geometrie der Umgebungskonfigurationen möglich. Diese Voraussetzung ist auch für das wirkliche System vernünftig, das über keine Möglichkeiten räumlicher Messungen durch "Maßstabanlegen", wohl aber über Möglichkeiten zur Detektion von Zeitbeziehungen verfügt und dessen dynamische Charakteristika sich auf die gleiche Systemzeit beziehen wie die beobachteten Prozesse (Das Problem des subjektiven Zeitmaßes als einer höheren, abgeleiteten Eigenschaft besteht selbstverständlich unabhängig hiervon).

Es scheint daher nützlich, zunächst einfache Modell-Probleme zu betrachten, in denen zeitliche Messungen effektiv zur Konstruktion räumlich-metrischer Beziehungen benutzt werden können, und diese dann Schritt für Schritt den wirklichen Verhältnissen anzuähneln. Wir wollen einige Schritte in Form von Aufgaben spezifizieren.

1. Aufgabe

Es sei folgendes eindimensionales Problem betrachtet: N simultane "Eingänge" E_1, E_2, ..., E_N seien Punkten $x_1, x_2, \ldots, x_N$ der x-Achse, die die Relation $x_1 < x_2 < \cdots < x_N$ mit festem $x_a = x_1$ und $x_e = x_N$ erfüllen, zugeordnet. Es sollen (der Ebene des Primärbildes entsprechend) weiterhin N Ausgänge $A_1, A_2, \ldots, A_N$ existieren. Vor den Eingängen E_i vorbeibewegte punktförmige Objekte sollen in den korrespondierenden Ausgängen ein momentanes Signal erzeugen. Dort sei es jeweils möglich, die Zeit zu "stoppen", die vergeht, bis das Objekt am nächsten Ausgäng "erscheint". Nehmen wir der Einfachheit halber ein einziges, mit konstanter Geschwindigkeit vorbeibewegtes Objekt an, so ist es leicht, auf höheren "Verarbeitungsniveaus" aus den gemessenen Zeitdifferenzen $\tau_i = |t_{i+1} - t_i|$ eine räumliche Metrik über den Ausgangselementen zu errichten. Für die (quasi) lokale Abstandsfunktion ergibt sich:

$$\rho\,(A_i,\, A_{i+1}) = \text{const.} \cdot |t_{i+1} - t_i|\,.$$

Bei dem Versuch, diese Lösung zu Readaptationsprozessen der visuellen Wahrnehmung in Analogie zu setzen, zeigen sich grundsätzliche Schwierigkeiten. So müßte z.B. eine recht streng lineare "Messung" von Zeitabständen gefordert werden, zweitens müßten diese Angaben möglichst ohne Informationsverlust den höheren metrisch bewerteten Instanzen übertragen werden. Ein solcher Steuermechanismus würde aber eine ganz ungeheure Vorinformation verlangen.

2. Aufgabe

Wir führen daher folgende Abänderungen ein: Die metrische Bewertung der Ausgänge A_j (die z.B. Eingänge einer Lernmatrix sein können) sei ein für allemal, und zwar linear

festgesetzt. Dagegen sei es möglich, durch Steuerimpulse die E_i zu verschieben. Ein geeignetes festes Verhalten der zwischenliegenden Übertragungsglieder vorausgesetzt, sind alle Steuerimpulse zugelassen, die die Unterschiede zwischen den τ_k nivellieren.

Wir nehmen als einfachste Möglichkeit an, daß die abgegebenen Steuerimpulse für A_i proportional zu $\tau_{i-1} - \tau_i$ seien und $\dot{x}_i = - \varepsilon \ (\tau_{i-1} - \tau_i)$ den Zusammenhang mit der Verschiebung der A_i wiedergebe. Dann folgt für die τ_i ein System von Differentialgleichungen der Form

(3) $$\dot{\tau}_i = \frac{\varepsilon}{v} \cdot (\tau_{i-1} + \tau_{i+1} - 2 \tau_i)$$

und

(3a) $$\dot{\tau}_1 = \frac{\varepsilon}{v} \cdot (\tau_2 - \tau_1)$$

(3b) $$\dot{\tau}_N = \frac{\varepsilon}{v} \cdot (\tau_N - \tau_{N-1})$$

für das erste und letzte Element, wobei v jetzt die Geschwindigkeit einer ununterbrochenen vorbeiströmenden Menge von Objekten ist. Die Differentialgleichungen sind offenbar genau diejenigen, die man bei der sogenannten Differenzengleichungsmethode zur Lösung von Wärmeleitungsgleichungen erhält. Nach einem bekannten Satz approximiert das System (3) die entsprechende partielle Differentialgleichung bei hinreichend kleinen Intervallen mit beliebiger Genauigkeit. (3a) und (3b) können durch $\tau_0 - \tau_1 = 0$ und $\tau_{n+1} - \tau_n = 0$ in die Form von (3) überführt werden, d. h. der Ausgleichsprozeß verläuft einem Wärmeleitungsvorgang analog, dessen Temperaturfunktion am Anfang und am Ende des Intervalls durch Spiegelung fortgesetzt wird.

Im korrespondierenden stetigen Fall erhält man durch Umformung bei v = const.

(4) $$\dot{c}(y) = k \cdot c(y)^2 \cdot \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{c(y)^2} \cdot \frac{\partial c(y)}{\partial y} \right)$$

wo $c(y)$ die eindimensionale "scheinbare" Objektgeschwindigkeit bedeutet und $\frac{\partial c(y)}{\partial y}$ der eindimensionalen Verzerrungsgeschwindigkeit proportional ist. (4) erfüllt damit ersichtlich das Prozeßkriterium des vorigen Abschnitts. Der Endzustand verschwindender Verzerrung am Ausgang des Systems wird jedoch auch dann (nach einer abgeänderten Differentialgleichung) erreicht, wenn das Objektgebiet durch eine beliebige Verzerrungsfunktion gemäß (1) auf den Eingang des Systems abgebildet wird, d. h. es findet eine Inversion dieser Abbildung statt, ohne daß die inverse Funktion während des Korrekturprozesses "explizite" im System vorläge.

Der Vorzug des vorliegenden Modells gegenüber dem der Aufgabe 1 ist offenbar prinzipiell der gleiche wie der, der jede Regelung gegenüber einer Steuerung auszeichnet, nur daß die Reduktion der notwendigen Vorinformation für einen so komplexen multi-

variablen Prozeß eine noch viel größere ist, indem lediglich Informationen aus jeweils benachbarten Elementen verarbeitet werden und auch monoton stetige Funktionen der t_i zur Einleitung des Ausgleichsprozesses hinreichen. Damit wäre auch die strenge Linearitätsforderung für die Zeitmessung beseitigt.

Zum Vergleich sei schließlich noch angemerkt, daß sich bei Brillenversuchen (I. Kohler, 1951) im Gegensatz zur motorischen Anpassung, für die ein Überschwingverhalten charakteristisch ist, bei sensorischen Readaptationen ein Verhalten fand, daß dem viskösen Breitfließen nach (3) bzw. (4) entspricht.

3. Aufgabe

Die Aufgabe 2 enthält immer noch eine Reihe von Voraussetzungen, die die Analogie zu Prozessen der Wahrnehmung stark begrenzen. U. a. wird gefordert: 1. Eine mechanische Verschiebbarkeit der Eingangselemente E_j; 2. eine strenge Ordnung der Ausgangselemente A_i; 3. die Möglichkeit, Einzelobjekte an den Ausgängen zu identifizieren und deren Flugzeit zwischen benachbarten Elementen zu messen.

Es seien jetzt einige Überlegungen angestellt, wie diese Voraussetzungen vermieden werden könnten. Dazu führen wir mit $F(x \mp s(t))$ stationäre Rauschfunktionen ein, deren zeitunabhängige räumliche Korrelation

$$K = \lim_{R \to \infty} \frac{1}{2R} \int_{-R}^{+R} F(x,t) \cdot F(x+\Delta x, t) \, d\Delta x$$

gegeben sei. Sie mögen bei ihrer Vorbeibewegung in den Eingangselementen die zeitlichen Rauschfunktionen $F(x_i \mp s(t))$ erzeugen. Es darf angenommen werden, daß sich die Musterverschiebungsgeschwindigkeit $v = \dot{s}(t)$ zwischen zwei benachbarten Eingangselementen praktisch nicht ändert, also

$$F(x_i \mp s(t)) \approx F\left[x_{i\pm1} \mp s\left(t \pm \frac{\dot{s}(t)}{x_{i\pm1} - x_i}\right)\right] \quad \text{bzw.} \quad s(t) \approx v \cdot t$$

gilt. Dann sind benachbarte Ausgangselemente dadurch "markiert", daß mit der geringsten zeitlichen Verschiebung die gleiche Rauschfunktion auftritt. Der Grundgedanke eines Zuordner-Modells ist nun der folgende: Ein geeigneter Schwellenmechanismus verbinde ein Eingangselement E_j mit einem beliebigen Ausgangselement A_i immer dann, wenn eine hinreichende Zeit lang von A_i aus rückwärts das gleiche Signal wie von E_i ausgesandt wurde. Die Diskriminationsschärfe eines solchen Mechanismus kann sehr stark erhöht werden, wenn $F(x_i \mp s(t))$ (was für Helligkeitsfunktionen in der Umgebung des Menschen zutrifft) sich vorwiegend sprunghaft ändert und nicht das Signal selbst, sondern seine Ableitung zur Bildung einer "Leitfähigkeit" γ_{ji} herangezogen wird. Wird außerdem für ein selbsttätiges Erlöschen der Leitfähigkeit gesorgt, so kann auf diese Weise jedes A_i von seinem ursprünglichen Partner getrennt und mit einem beliebigen anderen Eingangselement verbunden werden.

Um diesen Vorgang für einen selbsttätigen Korrekturmechanismus ausnutzen zu können, muß weiterhin ein Interpolationsmechanismus vorläufig unbekannter Struktur wirksam

werden (Für das biologische System folgt die Existenz eines Interpolationsvorganges daraus, daß die räumliche Sehschwelle beträchtlich unter dem durch die Sehzellendistanz gegebenen Rasterabstand liegt).

Zur Lösung eines der 2. Aufgabe analogen Problems sind nun anscheinend mindestens zwei "Zuordnungsmatrizen" notwendig. Einmal müssen die neuen Übertragungselemente für den Zeitpunkt $t + \Delta t$ "gefunden" werden (Bild 1). Dies könnte - zunächst in einem fiktiven stetigen Matrix-Modell gedacht - im Prinzip dadurch realisiert werden, daß man die Signale bzw. die differenzierten Signale mit geeigneter Verzögerung in eine Matrix Z_2 wieder einspeist. Dadurch käme es zu einer Art "Mitführung" in der Bewegungsrichtung des Musters.

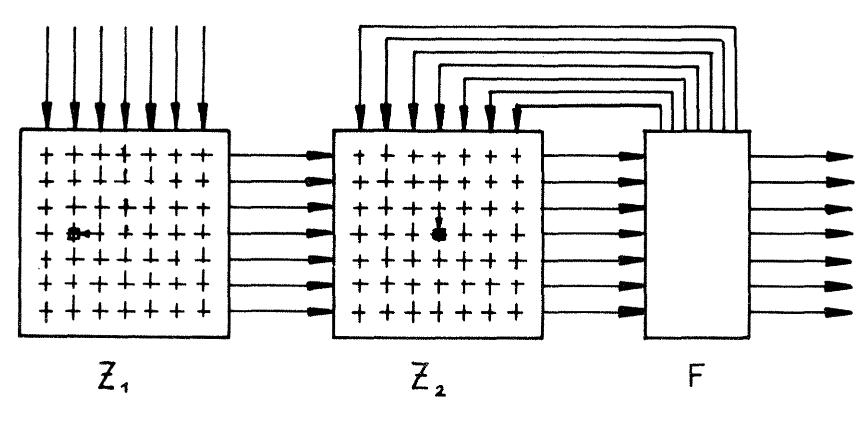


Bild 1

Zweitens müssen aber die Verbindungen zu den Eingangselementen gefunden werden, die den neuen Ausgangselementen zuzuordnen sind. Diese sind offenbar nur durch die unverzögerten Signale markierbar, können also durch dessen Eingabe in die durch Z_2 gefundenen "Übertragungselemente" in Z_1 zugeordnet werden. Für die Bemessung der "Latenzzeiten" der "Schlüsselsignale", die zur Zuordnung in Z_1 führen, könnten z.B. Netze postuliert werden, die in ihrer Struktur dem von W. Reichardt (1957) zur Erklärung der optokinetischen Wendereaktion des Rüsselkäfers herangezogenen System entsprechen. Für dieses System ist in einem gewissen Bereich ein monotoner Anstieg der Amplitude des Ausgangssignals mit der Musterverschiebungsgeschwindigkeit bekannt.

5. Diskussion der Aufgaben

Es ist zunächst klar, daß die (freilich noch ganz grob gefaßte) Problemstellung der Aufgabe 3 dem physiologischen Vorbild näherkommt, als die Aufgaben 1 und 2. Schwel-

len, Latenzzeiten, Signaldifferenzierung, Rückwirkung und schließlich zeitlich korrelative Wirkungen haben bekannte physiologische Entsprechungen. Daneben besitzt das vorgeschlagene Modell aber bereits höchst spezifische Eigenschaften, die im Experiment verifiziert oder falsifiziert werden können, von denen einige aufgezählt seien:

1. Da unter den diskutierten Bedingungen wohl eine kurzzeitige Latenz möglich ist, nicht aber eine hinreichende scharfe Signalprediktion, folgt, daß nur in denjenigen Bildfeldteilen eine Korrektur stattfinden könnte, für die eine "Mitführung" in Bewegungsrichtung eine Entzerrung bewirkt.

2. Aus einer endlichen Zeit für den Auf- und Abbau der "Leitfähigkeiten" folgt eine Toleranzverbreiterung (Verringerung der Sehschärfe) während des Korrekturprozesses.

3. Durch künstliche Bewegungsverteilungen müßten relativ dauerhafte Gesichtsfeldverzerrungen erzeugbar sein.

4. Eine Korrekturleistung müßte auch bei einer regellos optisch gegliederten Umgebung eintreten.

Eine weitergehende Betrachtung des zweidimensionalen Falles zeigt, daß die Einführung der Signalkorrelation als relevante "Auswertungsgröße" zu ähnlichen Möglichkeiten führt wie die Prüfung der Selbstkongruenz (Platt 1962) mit dem Unterschied eines ungleich größeren Informationsgewinns, indem

1. kein selbstkongruentes Muster erforderlich ist, sondern umgekehrt eine ganze Schar "virtueller" Gerader kinetisch dadurch "erzeugt" wird, daß alle Elemente, deren Signale innerhalb einer kurzen Zeitspanne miteinander korrelieren, auf Geraden lokalisiert werden;

2. keine ausgezeichnete Richtung bei Prüfbewegungen eingehalten werden muß, sondern alle Bewegungsrichtungen einen Informationsgewinn liefern;

3. ohne äquidistante Markierungen über der gefundenen Geraden eine bezüglich der abgebildeten Umgebung ausgezeichnete Metrik errichtet werden kann.

Da das von Brillenversuchen vorliegende Material im allgemeinen unter wesentlich andersartigen Gesichtspunkten gewonnen wurde, kann es verständlicherweise kaum zur Stützung der Modellvorstellungen herangezogen werden. Andererseits ist uns jedoch keine Tatsache bekannt, die in scharfem Widerspruch zu der vertretenen Auffassung stünde. Dies gilt auch für neuere psychologische Ergebnisse zum Problem der Bildererkennung, (z.B. W. D. Gleser - im Druck). Wegen ähnlich einfacher Bedingungen dürften besonders Versuche mit Kontaktlinsen (J. G. Taylor) für einen Vergleich aufschlußreich werden.

6. Zusammenfassung und Verallgemeinerung

A. In bezug auf die eingangs formulierte Fragestellung ergibt sich etwa folgendes:

1. Es scheint möglich, unter Benutzung gewisser Elementar-Eigenschaften des Nervensystems von Prozessen derFigurerkennung unabhängige metrische Zuordnungsmechanismen zu konstruieren, die ähnliche Korrekturleistungen zeigen, wie sie bei Brillenversuchen auftreten.

2. Die entsprechenden Modelle zeichnen sich gegenüber solchen, die auf komplexeren Prozessen aufbauen, vor allem durch eine Reduktion der notwendigen Vorinformation (bzw. Vororganisiertheit) und durch einen höheren Informationsfluß aus.

3. Die Wechselwirkung innerhalb dieser Modelle ist im wesentlichen lokaler Natur, d. h. zumindest der ausschlaggebende Informationsaustausch erfolgt nur zwischen (im korrelativen Sinne) benachbarten Elementen bzw. über relativ wenige Glieder hinweg.

4. Die Veränderungen der Zuordnung können bei großer Eingangs- und Ausgangszahl stetig approximiert werden, d. h. sie haben Feldcharakter.

Es sind leicht Verallgemeinerungen der vorliegenden Modelle denkbar, die außer geometrischen Umgebungsmerkmalen noch andere Eigenschaften, wie Farben, Helligkeiten, aber auch Geschwindigkeiten als gesonderte Qualitäten metrisch repräsentieren. Da sie als Ausgangspunkt total-kohärenter heuristischer Prozesse, deren Resultate "lokal" repräsentieren, wollen wir die Ebene dieses Primärabbildes als "lokal-kohärentes Niveau" bezeichnen.

Unsere eingangs entwickelte Vorstellung ist daher mit der Hypothese eines (wahrscheinlich nur funktionell definierbaren) lokal-kohärenten Abbildes der Umgebung identisch.

B. Es sei schließlich die Frage vorgelegt, auf welchem Wege man zu einem auch quantitativ zutreffenden Modell gelangen könnte. Hierbei müssen eine Reihe wesentlicher Unterschiede zwischen den Charakteristika des natürlichen Prozesses und den diskutierten Modellsituationen beachtet werden:

1. Die Readaptation der Wahrnehmung muß anstatt auf kartesische Koordinaten auf Winkelkoordinaten bezogen werden. Hieraus ergibt sich u. a. ein Fortfall der überaus künstlichen Randbedingungen.

2. Auch innerhalb der Wahrnehmung muß eine stabile momentane metrische Zuordnung durch eine "Markierung" der übertragenden Leitungselemente gewährleistet sein, wie aus der Möglichkeit einer metrischen Wahrnehmung bei tachistoskopischer Objektdarbietung folgt. Dieser Zuordnung sind jedoch die ebenfalls relativ rasch ablaufenden Prozesse der Tiefenwahrnehmung überlagert, die in ihrem Charakter den beschriebenen langfristigen Korrekturprozessen ähneln.

3. Umgebungsbewegungen und Rezeptorbewegungen sind für die Wahrnehmung ungleich-

wertig: Die wahrgenommene Umgebung ist gegenüber Rezeptorbewegungen stabil. Diese durch die propriozeptiven Systeme vermittelte Momentanleistung hängt, wie es für bedingtreflektorische Prozesse charakteristisch ist, auch von irrelevanten Bedingungen ab, unter denen die Anpassungsleistung erzielt wurde. Unter außerordentlichen Bedingungen ("Unvollständiges Signalelement" - H.-G. Geißler - im Druck -) kann es daher zu Fehlleistungen z.B. zum sog. Autokinetischen Effekt kommen.

Obgleich die Forderung einer "Stabilisierung" der "wahrgenommenen Umgebung" einen etwas allgemeineren Charakter besitzt, als die oben diskutierten Voraussetzungen, bedeutet sie keinen Widerspruch zum kinematischen Ansatz, da, wie man aus Abschnitt 3 leicht erkennen kann, im allgemeinen bei jeder nicht sprunghaften Rezeptorbewegung (Kopf- und Körperbewegungen, Triftbewegungen des Auges) Verzerrungsgeschwindigkeiten auftreten, die nicht durch propriozeptive Informationen, sondern nur auf dem Wege der "Selbstbelehrung" mit Hilfe von Musterrelationen aufgehoben werden können. Im Gegenteil scheint es sogar möglich, die Abweichung zwischen objektiver und "phänomenaler" Metrik - jetzt unabhängig von der Komplexität der beteiligten Teilprozesse - dadurch zu erklären, daß für den stationären Endzustand in der stetigen Näherung nicht ein vollständiges Verschwinden der Komponenten $v_i(y)$ und $v_{kl}(y)$ gefordert wird, sondern nur das Absinken unter eine gewisse biologisch bedingte Schwelle, d.h. die Ununterscheidbarkeit zeitlich benachbarter "Primärabbilder".

Eingegangen am 19. Dezember 1964

Schrifttumsverzeichnis

Geißler, H.-G.: Adaptive Prozesse bei der Wahrnehmung der Vertikalen als Spezialfälle psychophysischer Transformationsprozesse. Z. Psychol., 170, 1965 (im Druck)

Gleser, W.D.: Zur Analyse von Mechanismen der Bilderkennung im Wahrnehmungssystem. Symp. Kyb. Forsch. Berlin 1964 Z. Psychol., 171, 1965 (im Druck)

Kohler, J.: Aufbau und Wandlungen der Wahrnehmungswelt. Rudolf M. Rohrer-Verlag, Wien 1951

Platt, J.R.: Principles of Self-Organization, Pergamon Press Oxford, London, New York, Paris, 1962, 315 - 321

Reichardt, W.: Autokorrelationsauswertung als Funktionsprinzip des Zentralnervensystems. Naturforschg. 12b, 1957, 448-457

Steinbuch, K. / Frank, H.: Nichtdigitale Lernmatrizen als Perzeptoren. Kybernetik 1, 1961, Nr. 3

Taylor, J.G.: The Behaviorial Basis of Perception. Yale University Press, New Haven and London, 1962

ZUR MAKROSTRUKTURTHEORIE VON LEHRALGORITHMEN

von Helmar Frank (Waiblingen), Berlin

§ 1 Begriffsbestimmungen

Der Begriff des Lehralgorithmus ist eine Spezialisierung des Begriffs "Algorithmus". Dieser Ausdruck wird mit "Rechenvorschrift" übersetzt, wobei aber entweder der Begriffsumfang auf die praktisch häufigsten, nämlich die arithmetischen Algorithmen (Quadratwurzel-Algorithmus, regula falsi etc.) eingeschränkt, oder der Begriff "Rechnen" über die Ausführung arithmetischer Operationen hinaus auch auf Operationen anderer Kalküle (Aussagenkalkül, Operationen der automatischen Sprachübersetzung etc.) angewandt wird. Eine genaue Defintion des Algorithmenbegriffs macht davon Gebrauch, daß Algorithmen von Nachrichtenverarbeitungsautomaten ausgeführt werden können (vgl. z.B. A. Müller, 1964, S. 6). Wie der Mensch vermögen diese Automaten Zeichen von festgelegten Stellen abzulesen, ihnen in definierter Weise (meist andere) Zeichen zuzuordnen, diese Zeichen an bestimmte Stellen zu setzen(anstelle eines evt. bisher dort stehenden Zeichens) und aufgrund des Erfülltseins oder Nichterfülltseins einer vorgegebenen Bedingung entweder den Lesevorgang an einer weiteren, festgelegten Stelle fortzusetzen, oder mit der Arbeit aufzuhören. Diese Arbeit wird - gleichgültig ob sie ein Mensch oder ein Automat bewältigt - "Ausführung eines Algorithmus" genannt. Sie ist ein realer Prozeß, dessen Verlauf nicht allein vom Algorithmus, sondern auch von der vorgegebenen Besetzung der besagten Stellen mit Zeichen abhängt. (Z.B. verläuft das Quadratwurzelziehen als realer Prozeß je nach dem Radikanden unterschiedlich.) Was bei alleiniger, sonst beliebiger Veränderung dieser vorgegebenen Zeichen invariant bleibt, also die Gesetzmäßigkeit im Verhalten des Systems, ist der Algorithmus. Was ein nachrichtenverarbeitendes System in den Stand setzt, einen anderen Algorithmus auszuführen als bisher, heißt "Programm". Das Programm ist also eine Beschreibung eines Algorithmus in der Sprache des diesen ausführenden Systems. Ein solches System heißt programmierbar, wenn es nicht auf die Ausführung eines bestimmten Algorithmus festgelegt ist.

Ein Lehralgorithmus ist speziell eine Gesetzmäßigkeit (ein Algorithmus), nach welcher ein Lehrsystem (Lehrer oder Lehrautomat) den von einem Lernsystem (Adressat oder lernender Automat) vorgegebenen Zeichen (Antworten, Fragen, Bitten - kurz: "Eingabebuchstaben") weitere Zeichen (Lehrquanten, Fragen, Aufrufe) zuordnet und mindestens teilweise an Stellen setzt, wo sie vom Lernsystem "abgelesen" (gehört, gesehen etc.) werden können. In genau demselben Sinne ist ein Lehrprogramm ein Spezialfall eines Programms.

Zwei Festellungen mögen hier zur Behebung zweier häufig zutage tretender Unklarheiten nützlich sein.

1. Die für die Ausführung eines Algorithmus vorzugebenden Zeichen (sogenannte Ein-

gabebuchstaben) müssen nicht alle zeitlich vor Beginn der Ausführung vorliegen. "Vorgegeben" besagt: nicht vom ausführenden System (als solchem!) erzeugt. Beispielsweise kann mit der Lösung von drei linearen Gleichungen mit drei Unbekannten schon begonnen werden, bevor die dritte Gleichung bekannt wird. Die zeitliche Überlappung der Ausführung des Algorithmus mit der Eingabe der vorzugebenden Zeichen in das ausführende System ist typisch bei Prozeßrechnern und (insbesondere) bei Lehrsystemen.

2. Man kann einen Algorithmus anwenden auf Zeichen, die man selbst vorgegeben hat, z.B. kann man algorithmisch eine selbst gestellte Aufgabe lösen. Dieses Vorgeben leistet man aber nicht in der Eigenschaft des Ausführers eines Algorithmus. Insbesondere kann der Adressat eines Lehralgorithmus selbst diesen Algorithmus ausführen, d.h. einen Teil der Funktionen des Lehrsystems übernehmen. Das Programm, welches den Algorithmus beschreibt, liegt dann nicht in einer Maschinensprache, sondern in der Sprache des Adressaten vor. Dies wird besonders deutlich bei verzweigten Lehrprogrammtexten (scrambled textbooks).

Die vom Lehrsystem einem Adressaten (der nicht selbst den Lehralgorithmus anwendet) dargebotenen Zeichen nennen wir "Externteile" oder "frames" $Ex(S_i)$ der Lehrschritte $S_i \in \mathfrak{S}$, wobei $\mathfrak{S}$ die Menge der Lehrschritte ist, in welche der Lehralgorithmus zerfällt. $Ex(S_i)$ ist ein Zeichenkomplex, von dessen Aufbau die Makrostrukturtheorie der Lehralgorithmen absieht; sie spricht daher auch von "Lehratomen" (Frank, 1963) und interessiert sich für deren Verknüpfungen (d.h. mögliche Aufeinanderfolgen). Vom Standpunkt der Mikrostrukturtheorie der Lehralgorithmen aus, die sich z.B. mit Informationsgehalt, Redundanz, "Begriffsfortschritt" (Anschütz, 1965) u.dgl. beschäftigt, wollen wir den Lehrschritt in vier Teile zerlegen:

1. das Urteil (über die vorangegangene, durch den Eingabebuchstaben codierte Adressatenreaktion)
2. das Lehrquant
3. die Frage (die meist ein Repertoire möglicher Antworten explizit enthält: sogenannte Auswahlmethode)
4. der Aufruf (d.h. der Befehl an den Adressaten, einen angegebenen oder einen von einer Bedingung abhängigen Eingabebuchstaben zu liefern).

Die Teile 1, 2 und 3 können bei einem Lehrschritt teilweise oder sämtlich fehlen. Der Aufruf ist (wenigstens bei topologisch-adaptiven Lehrautomaten, vgl. Frank, 1964) der unerläßliche Kern des Lehrschritts, dessen Befolgung den Übergang zu einem neuen Lehrschritt bewirkt.

Jede Adressaten-Reaktion $r_j = r(t) \in \mathfrak{R}$ auf den im Zeitintervall t-1 dem Adressaten dargebotenen Lehrschritt $S_i = S(t-1)$ bewirkt also die Darbietung des durch r_j und den Algorithmus determinierten Lehrschritts $S(t)$ im selben Zeitintervall (Bild 1). Die Folge der Eingabebuchstaben

$$r = r(1)\, r(2)\, r(3) \dots r(t)$$

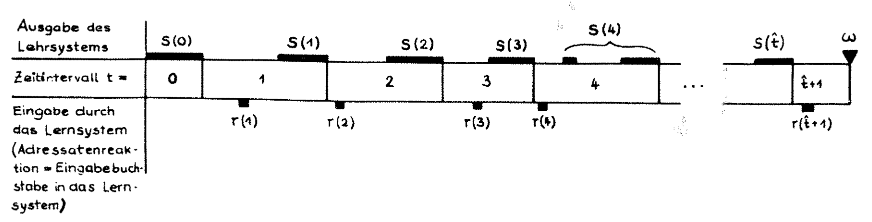


Bild 1

wird also durch den Lehralgorithmus abgebildet auf die um den Anfangsschritt S(0) längere Folge

$$S = S(0)\ S(1)\ S(2)\ S(3)\ \ldots\ S(t)$$

von Lehrschritten. Wir nennen in Anlehnung an die Terminologie der abstrakten Automatentheorie r ein Eingabewort oder Reaktionswort. (Vgl. insbesondere Gluschkow, 1963. Als erster dürfte wohl Kelbert, 1964, grundlegende Begriffe der Theorie abstrakter Automaten in die Lehralgorithmentheorie, speziell in die Theorie verzweigter Lehrprogrammtexte, eingeführt haben.)

Die Menge aller Eingabewörter bildet die Eingabehalbgruppe $F(\mathfrak{R})$. Unter einem "Pfeil" oder "potentiellen Übergang" $P_{ij} \in \mathfrak{P}$ verstehen wir das geordnete Paar $S_i S_j$ von Lehrschritten S_i und S_j, die bei dem gegebenen Lehralgorithmus bei passend gewähltem Reaktionswort r aufeinanderfolgen können. Eine Folge von Pfeilen

$$W = P_{ij}\ P_{jk}\ P_{kl} \ldots P_{xy},$$

wobei der zweite Schritt jedes Pfeils mit dem ersten seines Nachfolgers übereinstimmt, soll gleichbedeutend sein mit der um ein Element längeren Folge

$$W = S_i\ S_j\ S_k\ S_l \ldots S_x\ S_y.$$

Jede dieser Verkettungsbedingung genügende Pfeilfolge ist ein Element der Menge $\mathfrak{W}$ der Lehrwege. Selbstverständlich hängt $\mathfrak{W}$ von $\mathfrak{P}$ ab: wir schreiben $\mathfrak{W}(\mathfrak{P})$. Die Länge von W ist gleich der Länge der Pfeilfolge, die diesen Weg ausmacht.

Wir können nunmehr exakt definieren:

Unter der Makrostruktur eines Lehralgorithmus verstehen wir eine Funktion φ, welche jedem Eingabewort $r \in F(\mathfrak{R})$ genau einen Lehrweg $W \in \mathfrak{W}$ zuordnet, wobei für gegebenes φ der Anfangsschritt S(o) des Wegs W unabhängig von r ist.

Ein Lehralgorithmus ist dann definiert durch

1. die (nicht notwendig geordnete) Menge $\mathfrak{S}$ von Lehrschritten S_i, von denen genau einer als Anfangsschritt ausgezeichnet ist;
2. eine Untermenge $\mathfrak{P}$ der Menge $\mathfrak{S} \times \mathfrak{S}$ aller geordneten (!) Paare $S_i S_j \equiv P_{ij}$ mit $S_i \in \mathfrak{S}$ und $S_j \in \mathfrak{S}$;
3. eine Menge $\mathfrak{R}$ von möglichen Adressatenreaktionen (Eingabebuchstaben) r_i;
4. eine eindeutige Abbildung φ der Menge $F(\mathfrak{R})$ in die Menge $\mathfrak{W}(\mathfrak{P})$.

Durch (1) wird festgelegt, welche Lehrschritte dem Adressaten überhaupt darbietbar sind, durch (2), wie sie aufeinanderfolgen können, durch (3), welche Verhaltensweisen des Adressaten der Lehralgorithmus zu unterscheiden fordert, und durch (4), wie jene Aufeinanderfolge durch dieses Adressatenverhalten determiniert ist.

Nach unseren bisherigen Definitionen (vgl. insbesondere Bild 1!) erfüllt ein Lehralgorithmus der Makrostruktur φ die beiden sogenannten "Automatenbedingungen" (Gluschkow, 1963, S. 23):

1. Jedes Eingabewort $r \in F(\mathfrak{R})$ ist gleichlang wie der Weg $W = \varphi(r)$.
2. Sei $p \in F(\mathfrak{R})$ und $q \in F(\mathfrak{R})$ und bezeichne $pq \in F(\mathfrak{R})$ die durch die Folge q fortgesetzte Folge p (d. h. die Aneinanderfügung der beiden Reaktionsfolgen), dann ist $\varphi(pq) = \varphi(p)\,\varphi_p(q)$, nämlich die durch den Weg $\varphi_p(q) \in \mathfrak{W}$ fortgesetzte Folge $\varphi(p)$, wobei der Weg $\varphi_p(q)$ durch das Eingabewort $pq \in F(\mathfrak{R})$ eindeutig bestimmt ist.

Bedingung (1) besagt in unserem Zusammenhang, daß das Lehrsystem nach jedem Lehrschritt eine Adressatenreaktion abwartet. Bedingung (2) besagt, daß das Lehrsystem die Lehrschrittfolge ausschließlich in Abhängigkeit vom bisherigen Adressatenverhalten zusammensetzt.

Die Menge $F(\mathfrak{R})$ von Eingabewörtern r wird durch die Abbildungsfunktion φ in $|\mathfrak{S}|$ Äquivalenzklassen zerlegt, wenn $|\mathfrak{S}|$ die Zahl der verschiedenen Lehrschritte (die Mächtigkeit von $\mathfrak{S}$) bezeichnet. p_1 ist äquivalent zu p_2 wenn $\varphi(p_1)$ und $\varphi(p_2)$ mit demselben Lehrschritt S_i enden. Wir nennen einen Lehralgorithmus einen Markoffschen Lehralgorithmus, wenn in der "Automatenbedingung" (2) der Fortsetzungsweg $\varphi_p(q)$ bei jedem festen q für alle äquivalenten Eingabewörter p derselbe ist. Bei einem Markoffschen Lehralgorithmus hängt also der nächste Lehrschritt nur ab vom unmittelbar vorangegangenen und von der darauf erfolgten Adressatenreaktion, d. h. die Makrostruktur φ des Lehralgorithmus vereinfacht sich bei Markoffschen Algorithmen auf eine Abbildung der Menge $\mathfrak{S} \times \mathfrak{R}$ auf die Menge $\mathfrak{P}$. Wir werden zunächst nur von Markoffalgorithmen sprechen.

§ 2 Symbolische Darstellung der Makrostruktur von Markoffalgorithmen

Die naheliegendste und zugleich anschaulichste symbolische Darstellung eines Lehralgorithmus erfolgt durch einen gerichteten Graphen. Seine Punkte repräsentieren die Lehrschritte S_i, seine Kanten S_iS_j die Pfeile $P_{ij} \equiv S_iS_j$. Bei einem Markoffschen Lehralgorithmus kann die Abbildung φ von $\mathfrak{S} \times \mathfrak{R}$ auf $\mathfrak{P}$ durch Anschreiben der verursachenden Eingabebuchstaben an die Pfeile im Graphen mit dargestellt werden (Bild 2a). Ist das Repertoire der Eingabebuchstaben geordnet, dann genügt für jedes i die Markierung von P_{i1}, d.h. des durch r_1 verursachten Übergangs, sofern man dafür sorgt, daß die zu r_1, r_2, r_3, ... gehörigen Pfeile in dieser Reihenfolge im mathematisch positiven Sinne um S_i (Bild 2b) angeordnet sind.

Dieses Graphenschema läßt sich als logisches Schema auch linear schreiben, und zwar in umkehrbar eindeutiger Weise (vgl. z.B. Thiele, 1963, S. 136-137). Als Grundzeichen verwenden wir die Zeichen S_o, S_1, S_2, S_3... für die (eigentlichen) Lehrschritte, dazu die "uneigentlichen Lehrschritte" α (Start) und ω (Stop), sowie die Sprungzeichen $\uparrow_1$, $\uparrow_2$, $\uparrow_3$, usf. Die Zeichenfolge ... $S_i\, S_j$ ... bedeutet dann (in vereinfachender

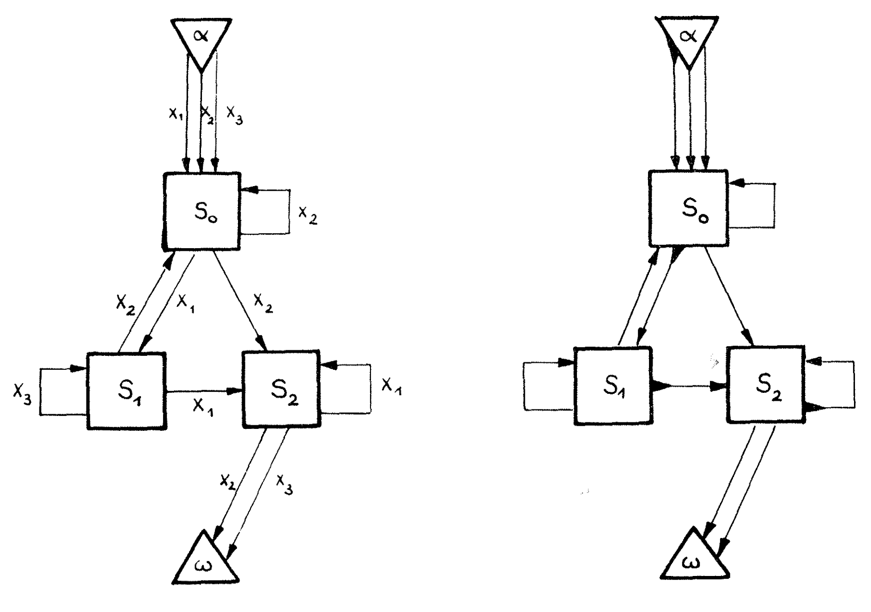


Bild 2 a

Bild 2 b

Anpassung der Thieleschen Notation an Lehralgorithmenprobleme): unabhängig vom Eingabebuchstaben r_k ist nach S_i der Lehrschritt S_j darzubieten. $S_i \uparrow_x \uparrow_y S_j$ bedeutet: auf S_i folgt S_x, falls der Eingabebuchstabe r_1 lautet, S_y, falls der Eingabebuchstabe r_2 lautet, S_j bei allen anderen Eingabebuchstaben. (Hat die Menge $\mathfrak{R}$ die Mächtigkeit u, dann können bis maximal u Sprungzeichen zwischen S_i und S_j stehen.) Eine lineare Schreibweise unseres Graphenschemas (Bild 2) lautet dann:

(1a) $$\alpha\; S_o \uparrow_1 \uparrow_2 \uparrow_o\; S_1 \uparrow_2 \uparrow_o \uparrow_1\; S_2 \uparrow_2\; \omega$$

Eine dazu äquivalente Schreibweise ist natürlich:

(1b) $$\alpha \uparrow_o \uparrow_o \uparrow_o\; S_1 \uparrow_2 \uparrow_o \uparrow_1\; S_o \uparrow_1 \uparrow_2 \uparrow_o\; S_2 \uparrow_2\; \omega$$

Diese äquivalenten Schemata lassen sich natürlich auch in Matrixform darstellen, z.B. (1a) durch die Matrix L im Schema (2).

(2)

	α	S_o	S_1	S_2	ω
α	o	$r_1 v r_2 v r_3$	o	o	o
S_o	o	r_3	r_1	r_2	o
S_1	o	r_2	r_3	r_1	o
S_2	o	o	o	r_1	$r_2 v r_3$
ω	o	o	o	o	$r_1 v r_2 v r_3$

Dabei bedeutet 0 in der i-ten Zeile und der j-ten Spalte von L, daß auf S_i niemals S_j folgen kann, r_3 bedeutet, daß dieser Übergang nur durch den Eingabebuchstaben r_3 bewirkt werden kann, $r_2 v r_3$ daß sowohl r_2 als auch r_3 diesen Übergang bewirkt usf. Ersetzt man jedes von 0 verschiedene Element der Matrix L durch 1, dann entsteht aus der logischen Matrix L die Kompositionsmatrix G des Graphen. Sie gibt nur noch an, welche Übergänge möglich sind, unterdrückt aber die jeweils erforderlichen Eingabebuchstaben.

Unterscheiden sich zwei Lehralgorithmen lediglich durch die Numerierung der Schritte, dann ergibt sich die den einen beschreibende Kompositionsmatrix durch Transformation aus der den anderen beschreibenden Kompositionsmatrix. Die Transformationsmatrix T erhält man, indem man im 1-aus-u+2-Code die bisherigen Nummern in der neuen Reihenfolge untereinanderschreibt. Mit der so entstandenen Matrix T ist G von

links zu multiplizieren, das Produkt mit der gestürzten Matrix T' von rechts. Das Ergebnis ist die gesuchte Kompositionsmatrix G^*. Beispiel: S_1 und S_2 (Bild 2) sind zu vertauschen. Codewörter der alten Nummern in der neuen Reihenfolge:

$$\begin{aligned} \alpha &\hat{=} 10000 \\ S_o &\hat{=} 01000 \\ S_2 &\hat{=} 00010 \\ S_1 &\hat{=} 00100 \\ \omega &\hat{=} 00001 \end{aligned}$$

Damit ist

$$(3) \quad G^* = TGT' = \begin{pmatrix} 10000 \\ 01000 \\ 00010 \\ 00100 \\ 00001 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 01000 \\ 01110 \\ 01110 \\ 00011 \\ 00001 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 10000 \\ 01000 \\ 00010 \\ 00100 \\ 00001 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 01000 \\ 01110 \\ 00101 \\ 01110 \\ 00001 \end{pmatrix}$$

Bezeichnet G^n das Produkt aus n Faktoren G, dann geben die Elemente $g_{ij}^{(n)}$ von G^n die Zahl der Wege mit der Länge n von S_i nach S_j an.

§ 3 Klassen von Lehralgorithmen

Abstrahiert man von den Definitionsbestandteilen (3) und (4) eines Lehralgorithmus, beschränkt man sich also auf die Menge der Lehrschritte und der Pfeile, dann verzichtet man insbesondere auf eine Unterscheidung zwischen Markoffschen und nicht-Markoffschen Lehralgorithmen. Die Makrostruktur des Lehralgorithmus ist dann umkehrbar eindeutig durch einen gerichteten Graphen darstellbar. Wir beurteilen diese Graphen nach drei distinktiven Merkmalen:

1. ein Graph ist kreisfrei, wenn $\mathfrak{W}(\mathfrak{P})$ keinen Weg W enthält, dessen erster Schritt mit dem letzten übereinstimmt. Andernfalls ist der Graph zirkulär. (Die Lehrschritte eines kreisfreien Graphen sind mindestens teilweise geordnet, d. h. es gibt eine transitive asymmetrische Beziehung $S_i \prec S_j$, die insbesondere dann erfüllt ist, wenn $S_iS_j \equiv P_{ij} \in \mathfrak{P}$.)

2. Ein Graph ist linear, wenn die Lehrschritte geordnet sind, d. h. wenn für alle $i \neq j$ entweder: $S_i \prec S_j$ oder $S_j \prec S_i$ gilt. ($S_i \prec S_i$ falls $P_{ii} \in \mathfrak{P}$). Andernfalls ist er verzweigt.

2. Ein Graph ist direktiv, wenn zu jedem Lehrschritt S_i nur ein von P_{ii} verschiedener Pfeil $S_iS_j \in \mathfrak{P}$ existiert. Andernfalls ist der Graph topologisch-adaptiv.

Von den acht kombinatorisch möglichen Graphen sind nur sechs logisch möglich. Weder ein kreisfreier noch ein zirkulärer Graph kann nämlich direktiv sein, ohne linear zu sein. Für die Lehralgorithmen, die durch die verbleibenden sechs möglichen Typen von Graphen dargestellt werden, sind in Bild 3 Bezeichnungen eingeführt.

Bild 3

Für jeden Graph enthält $\mathfrak{W}$ mindestens einen Weg kürzester Länge, aber nur für die kreisfreien Graphen auch einen Weg größter Länge. Bezeichnet man mit $n(S_i) = n_i$ den Erwartungswert der Zahl der Zeitintervalle t, in welchen einem Adressaten beim Durchlaufen des Lehralgorithmus der Lehrschritt S_i dargeboten wird (sogenannte Schrittnutzung), dann ist n_i bei zirkulären linearen Algorithmen für mindestens ein i größer als 1, bei kreisfreien linearen Algorithmen stets kleiner als oder gleich 1, und zwar beim Skinner-Algorithmus stets gleich 1, beim Umwegalgorithmus für mindestens ein i kleiner als 1.

(Die Arbeit verschiedener Adressaten mit demselben Lehralgorithmus kann u.a. gemessen werden durch die Zahl $\hat{t}_{eff}$, der effektiv benutzten Zeitintervalle verglichen mit deren Erwartungswert

(4) $$M(\hat{t}) = \sum_{i=0}^{|G|} n_i \ .)$$

§ 4 Darstellbarkeit von Lehralgorithmen in Lehrautomaten

In der Theorie abstrakter Automaten (insbesondere Gluschkow, 1963) wird unterschieden zwischen Mealy-Automaten und Moore-Automaten, wobei der Moore-Automat als Spezialfall des Mealy-Automaten angesehen werden kann.

Der Mealy-Automat ist definiert durch drei nichtleere Mengen: $\mathfrak{A}$ (die Menge der Automatenzustände), $\mathfrak{R}$ (die Menge der Eingabebuchstaben) und $\mathfrak{Y}$ (die Menge der Ausgabebuchstaben), sowie durch die Überführungsfunktion δ (a_i, r_j) und die Ergebnisfunktion λ (a_i, r_j).

δ (a_i, r_j) ordnet zu jedem zuletzt eingenommenen Automatenzustand a_i aufgrund eines Eingabebuchstaben r_j den als nächsten einzunehmenden Automatenzustand zu, bildet also die Menge $\mathfrak{A}$ x $\mathfrak{R}$ in die Menge $\mathfrak{A}$ ab:

(5) $$a(t) = \delta\ (a(t-1),\ r(t)).$$

λ (a_i, r_j) ordnet denselben unabhängigen Variablen das nächste Ausgabesignal zu, bildet also $\mathfrak{A}$ x $\mathfrak{R}$ in $\mathfrak{Y}$ ab:

(6) $$y\ (t) = \lambda\ (a(t-1),\ r(t)).$$

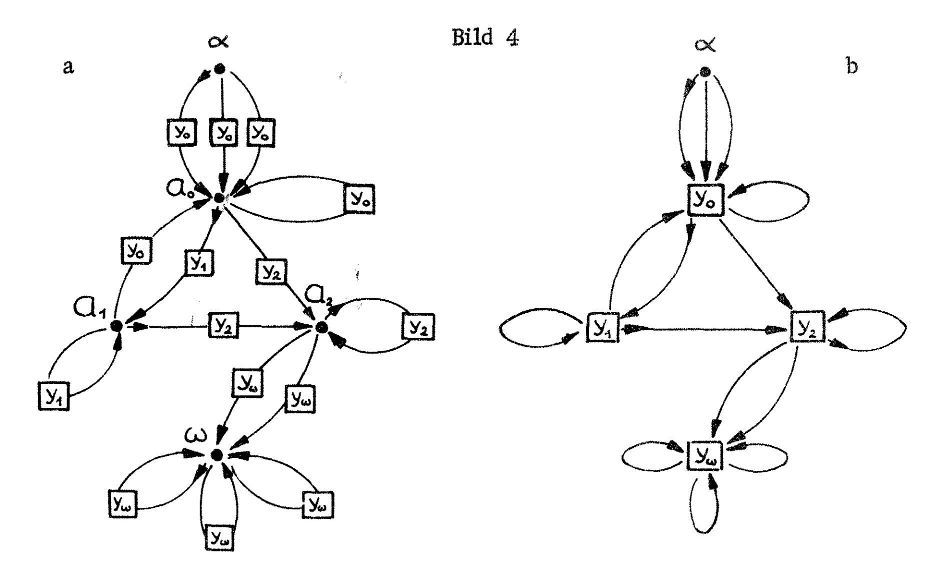
Man kann die Automatenzustände als Punkte eines gerichteten Graphen, die Übergänge als dessen Kanten symbolisieren, die Menge der Kanten gemäß der δ -Funktion auf $\mathfrak{Y}$ abbilden und an jeder Kante ihren jeweiligen Bildpunkt y_k eintragen (Bild 4 a; die Eingabebuchstaben sind entsprechend zu Bild 2 b symbolisiert). Die Anzahl der Kanten beträgt $|\mathfrak{A}| . |\mathfrak{R}|$, also gibt es höchstens ebensoviele verschiedene Ausgabesignale des Automaten. Selbstverständlich können zwei verschiedene Kanten auf dasselbe Ausgabesignal abgebildet sein, es kann also $y_k = \lambda\ (a_i, r_j)$ für zwei verschiedene Paare (a_i, r_j) denselben Wert annehmen. Stimmt insbesondere $y_k = \lambda\ (a_i, r_j)$ für alle die Paare (a_i, r_j) überein, die dasselbe δ (a_i, r_j) liefern, ist also für jeden Punkt des Graphen an jede auf diesen Punkt zuführende Kante dasselbe y_k eingetragen (Bild 4 a!), so daß

(7 a) $$y_k = \lambda\ (a_i, r_j) = \mu\ (\ \delta\ (a_i, r_j))\qquad \text{oder}$$

(7 b) $$y(t) = \lambda\ (a(t-1),\ r(t)) = \mu\ (\ \delta\ (a(t-1),\ r(t)) = \mu\ (a(t))$$

gilt, der Ausgabebuchstabe also eine Funktion des neuen Automatenzustands ist, dann können die Eintragungen von y_k auf den Zielpunkt der Kanten zusammengeschoben werden, d. h. die Ausgabesignale sind ebenfalls durch die Punkte des Graphen symbolisiert (Bild 4 b).

Bild 4



Ein Mealy-Automat, für welchen diese spezielle Bedingung (7a, b) gilt, heißt Moore-Automat.

Nimmt man zu den Lehrschritten eines Markoffschen Lehralgorithmus die uneigentlichen Lehrschritte α und ω (Anfangs- und Endzustand) hinzu, dann kann das den Lehralgorithmus ausführende Lehrsystem stets durch einen Moore-Automaten realisiert werden, für welchen

$$(8) \qquad \mathfrak{Y} \equiv \mathfrak{S} \cup \{\alpha, \omega\}$$

ist (vgl. Bild 4b mit 2b!). Beispielsweise ist der Lehrautomat Autotutor Mark II als ein konkreter Moore-Automat aufzufassen, dessen Zustände a_i die möglichen Positionen des Filmbandes sind, denen der gleichzeitig dargebotene Lehrschritt durch Projektion des im Lichtweg befindlichen Filmbildes fest zugeordnet wird. (Es handelt sich hier also - wie praktisch bei allen Lehrautomaten - um einen programmierbaren Automaten im Sinne von § 1.) Die Eingabebuchstaben sind die möglichen Tastendrücke.

Da der Moore-Automat ein Spezialfall des Mealy-Automaten ist, wird man fragen, ob Lehralgorithmen denkbar sind, die dem Mealy-Automaten entsprechen. Dies ist der Fall. Bei jedem zirkulären Lehralgorithmus sind Lehrquanten möglich, die sowohl durch richtige Reaktion auf einen Lehrschritt S_i als auch durch falsche Reaktion auf einen Lehrschritt S_j erreicht werden können. Da das Urteil (also der erste Teil des neuen Lehrschritts) nun jeweils verschieden sein muß, liegen nach der in § 1 gegebenen Definition zwei verschiedene Lehrschritte vor, die jedoch in Lehrquant, Frage und Aufruf überein-

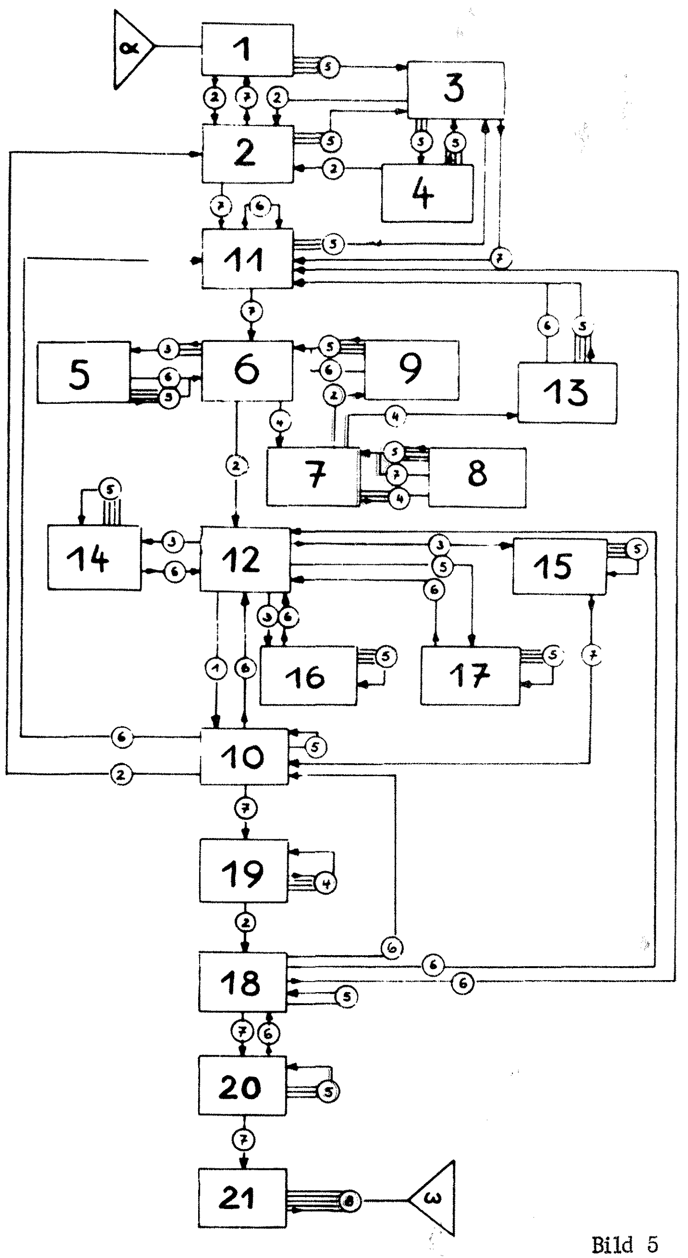


Bild 5

stimmen und insofern demselben Automatenzustand entsprechen, als ihre potentiellen Übergänge zu denselben nächstmöglichen Lehrschritten führen. Die Lehrschritte sind also nicht durch die Punkte, sondern durch die Kanten des die Lehrautomatenfunktion beschreibenden Graphen bestimmt; dieser Lehrautomat ist ein Mealy-Automat. Ein Beispiel dafür ist der Geromat II (Frank und Müller, 1964). Er trennt das Urteil vom Externteil des Lehrschritts ab. Der verbleibende "reduzierte" Externteil $Ex^{-}(S_i)$ entspricht dem Automatenzustand (Tonbandposition), das Urteil wird zuvor - aber im selben Zeitintervall - über ein Sofortanzeigefeld ausgegeben (vgl. S(4) in Bild 1!). Das Urteil kann in die Kanten des Graphen, z.B. in einem kreisförmigen Feld eingetragen werden (Bild 5).

Nach einem Satz der abstrakten Automatentheorie (z.B. Gluschkow, 1963, S. 18) gibt es jedoch zu jedem (endlichen) Mealy-Automaten einen ihm äquivalenten (endlichen) Moore-Automaten. Dieser Sachverhalt leuchtet bei Lehrautomaten unmittelbar ein: es genügt, alle in einem Mealy-Automatenprogramm vorkommenden Kombinationen von Urteilen und reduzierten Lehrschritt-Externteilen als je ein Lehrschritt einem Zustand eines Moore-Automaten zuzuordnen. Da jeder Lehralgorithmus nur e i n e n möglichen Anfangsschritt S_o enthält, ist die Zahl der möglichen Kombinationen um 1 zu erhöhen, sie beträgt also wie man leicht einsieht

$$(9) \qquad |\mathfrak{S}| = |\mathfrak{A}_{MOORE}| \leqq |\mathfrak{A}_{MEALY}| \cdot |\mathfrak{R}| + 1 \quad .$$

Da die Automatenzustände bei Lehrautomaten im wesentlichen den Speicherzellen, also z.B. beim Autotutor Mark II den Bildern auf dem Filmstreifen entsprechen, könnte z.B. ein aus 21 verschiedenen reduzierten Externteilen bestehender Lehralgorithmus, der mit 21 Zuständen des Mealy-Automaten Geromat II ausführbar ist ($|\mathfrak{R}| = 5$ Antworttasten), auch durch höchstens 106 Zustände des Moore-Automaten Autotutor Mark II ausgeführt werden, wenn nicht die Lehrschritte auf dem Informationsträger linear angeordnet also im Prinzip numeriert sein müßten, und der endliche Aufwand bei der technische Realisierung der Überführungsfunktion δ (a_i, r_j) Schranken setzte. Diese Schranken lassen sich bei jedem konkreten Lehrautomaten in Form von Kriterien für die Darstellbarkeit einer Kompositionsmatrix G in diesem Automaten präzisieren. Es bleibt dann zu untersuchen, ob eine nicht darstellbare Matrix G auf eine darstellbare Matrix G* desselben Algorithmus mit umnumerierten Lehrschritten transformierbar ist (vgl. § 2).

Abschließend sei das Problem der Darstellbarkeit der nicht-Markoffschen Lehralgorithmen aufgeworfen. Zwar läßt sich in Anwendung eines bekannten Theorems der abstrakten Automatentheorie (z.B. Gluschkow, 1963, S. 25) sofort nachweisen, daß auch jeder nicht-Markoffsche Lehralgorithmus, der die in § 1 genannten beiden Automatenbedingungen erfüllt, von einem Mealy-Automaten ausgeführt werden kann. Jedoch ist dieser Automat nicht notwendig endlich, also insbesondere nicht immer realisierbar. Der Mensch als Lehrer wendet aber, soweit er nicht überhaupt ein stochastisches System ist,

nicht-Markoffsche Lehralgorithmen an. (Versagt z.B. ein Schüler am Ende des i-ten Schuljahres, dann wiederholt er oder muß ausscheiden, je nachdem, wie oft er dieses Schuljahr schon durchlief! Entsprechendes gilt für den Lehralgorithmus "Logarithmieren" von Berger und Frank, vgl. Berger, 1963.) Aufgrund der Endlichkeit der Speicherkapazität des menschlichen Gedächtnisses kann aber vermutet werden, daß diese Lehralgorithmen endlichen Rückgriff haben, d.h. daß die Zuordnungsfunktion φ_p (q) der zweiten Automatenbedingung nur von den letzten g Buchstaben des Eingabewortes p abhängt. Damit gibt es aber (und das kann aus unserer endlichen Gedächtniskapazität sogar mit Sicherheit gefolgert werden) nur noch endlich viele verschiedene Funktionen φ_p (q), und diese sind durch dieselbe Anzahl von Automatenzuständen darstellbar. Der Externteil eines Lehrschritts muß nun verschiedenen Punkten in einem Graphenschema zugeordnet werden, wenn der Übergang zum nächsten Lehrschritt außer von der augenblicklichen Adressatenreaktion auch noch von den g vorangegangenen abhängt. Die Übergangsfunktion δ zum nächsten Lehrschritt bildet beim Moore-Automaten den Internteil In(S_i) eines Lehrschritts S_i. Sieht man Lehrschritte gleichen Externteils aber verschiedenen Internteils als verschieden an, dann gehen nicht-Markoffsche Lehralgorithmen von endlichem Rückgriff in Markoffsche über und sind mit denselben Automaten wie diese ausführbar. Der Wunsch nach "lernfähigen"(Lehr-)Automaten ist also im Prinzip ohne Neukonstruktionen zu erfüllen, indem man schon vorhandene programmierbare "gewöhnliche"(Lehr-)Automaten zur Ausführung nicht-Markoffscher (Lehr-)Algorithmen programmiert.

Eingegangen am 13. Dezember 1964

Schrifttumsverzeichnis

Anschütz, Herbert: Über die Verteilung der semantischen Information in Lehrprogrammtexten (erscheint GrKG 6/1, 1965)

Berger, Manfred: Universal-Rechenautomaten als Lehrmaschinen. In H. Frank (Hsg.) "Lehrmaschinen in kybernetischer und pädagogischer Sicht, I. Klett u. Oldenbourg, Stuttgart u. München, 1963, S. 27-35

Frank, Helmar: Kybernetik und Lehrmaschinen, in H. Frank (Hsg.) "Lehrmaschinen in kybernetischer und pädagogischer Sicht, I". Klett und Oldenbourg, Stuttgart und München, 1963, S. 13-26

Frank, Helmar:	Anregungen zur Terminologie auf dem Gebiet der Lehrobjektivierung. In H. Frank (Hsg.) "Lehrmaschinen in kybernetischer und pädagogischer Sicht, II". Klett und Oldenbourg, Stuttgart und München, 1964, S. 143-151
Frank, Helmar, Müller, Georg:	Ein adaptiver Lehrautomat für verzweigte Programme. In H. Frank (Hsg.) "Lehrmaschinen in kybernetischer und pädagogischer Sicht, II". Klett und Oldenbourg, Stuttgart und München, 1964, S. 81-87
Gluschkow, W.M.:	Theorie der abstrakten Automaten, Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1963, 103 S.
Kelbert, Heinz:	Kybernetisches Modell der Abarbeitung eines programmierten verzweigten Lehrbuchs. In H. Frank (Hsg.) "Lehrmaschinen in kybernetischer und pädagogischer Sicht, II". Klett und Oldenbourg, Stuttgart und München, 1964, S. 49-72
Müller, A. (Hsg.):	Lexikon der Kybernetik, Verlag Schnelle, Quickborn, 1964, 224 S.
Thiele, Helmut:	"Klassische" und "moderne" Algorithmenbegriffe. In: Mathematische und physikalisch-technische Probleme der Kybernetik, Akademie-Verlag, Berlin, 1963, S. 111 - 146

KYBERNETISCHE METHODEN DER DRAMENFORSCHUNG

von Waltraud Reichert, Berlin

1. Die elektive Entropie und ihre Anwendung auf Dramen

Der Begriff der Information oder Entropie, wie er durch Shannon und Wiener (1948) als mathematischer Ausdruck erklärt wurde, war zunächst auf die Nachrichtentechnik beschränkt. Er fand also lediglich Anwendung bei einer endlichen Zeichenmenge, deren Elemente z_i mit bestimmten relativen Häufigkeiten (h_i) beziehungsweise Wahrscheinlichkeiten (p_i) gesendet beziehungsweise erwartet werden. Da es sich jedoch um einen allgemeinen Strukturbegriff handelt, kann er überall dort eine Ordnungsstruktur charakterisieren, wo irgendwelche Elemente mit bestimmten relativen Häufigkeiten belegt werden. Einen möglichen Anwendungsbereich stellen soziale Gruppen und die Beziehungen ihrer Individuen zueinander dar, wenn man die von Moreno (1954) angewandte Methode der Soziometrie zugrundelegt. Hierbei sollen die Individuen einer Gruppe (beispielsweise einer Schulklasse) nach einem bestimmten Kriterium (z.B. Klassensprecher, Nebensitzer) eine vorgegebene Anzahl anderer Individuen der Gruppe wählen.

Die Anzahl der Wahlen, die ein Individuum erhält, normiert durch die Gesamtzahl der abgegebenen Wahlen, ist die relative "Wahlhäufigkeit". Der Unterschied zur Nachrichtentechnik, wo von einem Sender aus einem vorgegebenen Repertoire einzelne Zeichen ausgewählt werden (Selektion), besteht darin, daß die Elemente sich hier gegenseitig wählen (Elektion). Daher wird die Shannonsche Entropie in diesem Fall als "elektive Entropie" interpretiert (Cube/Gunzenhäuser, 1963). Ist n die Anzahl der Individuen, k die Anzahl der von einem Individuum abgegebenen Wahlen und v_i die Anzahl der Wahlen, die ein Individuum erhält, so ist die relative Häufigkeit, mit der es gewählt wird, $h_i = v_i/kn$ und die elektive Entropie wird definiert durch die Formel (Cube/Gunzenhäuser, 1963, S. 14):

$$(1) \qquad EE = \sum_{i=1}^{n} h_i \cdot \mathrm{ld}\,\frac{1}{h_i} \qquad\qquad \sum_{i=1}^{n} h_i = 1.$$

Um Gruppen verschiedener Individuenzahl n oder verschiedener Wahlzahl k hinsichtlich ihrer Ordnungsstruktur vergleichen zu können, wird die elektive Entropie auf einen Zahlenwert zwischen Null und Eins normiert (Cube/Gunzenhäuser, 1963, S. 27) und man erhält als Formel für die normierte elektive Entropie:

$$(2) \qquad EEN = \frac{EE_{max}(n) - EE(k,n)}{EE_{max}(n) - EE_{min}(k,n)}$$

Ist die Wahlzahl k nicht vorgegeben, so vereinfacht sich die Formel für EEN auf:

(3) $$EEN = 1 - \frac{EE}{\text{ld } n}$$

Von Max Bense stammt der Gedanke, daß man die normierte elektive Entropie auch auf die Beziehungen zwischen den Personen eines Dramas anwenden könnte: Die Beziehungen müßten dann in irgendeiner Weise quantifiziert, das Drama in einzelne Phasen unterteilt und für jede Phase und die zugehörige Personengruppe der Entropiewert bestimmt werden. Das kann man sowohl für die positiven als auch für die negativen Beziehungen machen und erhält dabei eine Folge von positiven und eine Folge von negativen Entropiewerten, die man über den Phasen als Abszissen in einem "Entropiediagramm" auftragen kann. Mit dieser Methode ergeben sich für jedes Drama zwei Kurven, die als Grundlage für den Vergleich verschiedener Dramen dienen können.

2. Probleme bei der Anwendung

Bei der praktischen Durchführung der genannten Methode ergeben sich im wesentlichen drei Probleme:

a) Phaseneinteilung

Setzt man voraus, daß untersucht werden soll, wie sich die Beziehungen der Personen untereinander im Verlauf des Dramas ändern, so ist die Einteilung in Akte oder Szenen nicht zweckmäßig. Die kommunikative Struktur kann nämlich über mehrere Szenen hinweg gleichbleiben und sich dann innerhalb einer Szene plötzlich ändern. Eine neue Phase beginnt also immer dann, wenn sich die Beziehungen innerhalb einer Personengruppe ändern oder eine völlig neue Personengruppe auftritt. Hieraus erklärt sich auch die unterschiedliche Länge der einzelnen Phasen. Man kann sich bei dieser Einteilung auf stärkere Veränderungen beschränken, da kleine Änderungen den Entropiewert nur unwesentlich beeinflussen und daher im Kurvenverlauf nur geringfügige Schwankungen hervorrufen.

b) Feststellung und Quantifizierung der Beziehungen

Die Beziehungen zwischen den Personen eines Dramas können ausschließlich durch die kommunikativen Äußerungen im Text (Sprache oder Handlung) festgestellt werden. Eine Bewertung erfolgt im einfachsten Fall durch positiv (+), negativ (-) und, falls keine oder neutrale Äußerungen vorliegen, Null (0). Eine Person kann dabei gleichzeitig positive und negative "Wahlen" (in einem verallgemeinerten Sinn) erhalten. Die relative Häufigkeit des "Gewähltwerdens" für eine Person ergibt sich durch die Normierung der von ihr erhaltenen "Wahlen" durch die Gesamtzahl der abgegebenen "Wahlen". (Da keine Wahlzahl vorgegeben ist, wird Formel (3) verwendet.)

Eine feinere Bewertungsskala, z.B. +3, +2, +1, 0, -1, -2, -3, ermöglicht zwar eine Unterscheidung der Beziehungen, beispielsweise nach Intensitätsgraden, hat aber den

Nachteil, daß die Eindeutigkeit bei der Bewertung einer Textstelle nicht in dem Maße gewährleistet ist, wie im ersten Fall.

Versuche mit beiden Quantifizierungsarten haben ergeben, daß der Einfluß auf den Gesamtverlauf der Entropiekurven so gering ist, daß er im allgemeinen vernachlässigt werden kann.

c) Personen

Es erhebt sich die Frage, ob man bei der Analyse eines Dramas nach der genannten Methode alle im Stück auftretenden Personen oder nur die Hauptpersonen berücksichtigen soll. Da bei der vorliegenden Untersuchung nur der Hauptkonflikt des Dramas von Bedeutung ist, können wir uns auf die Hauptpersonen beschränken. Unter Nebenpersonen verstehen wir dabei solche, durch deren Auftreten zwar die Handlung oder die kommunikative Struktur verändert werden kann, die sie aber nicht durch eigene kommunikative Äußerungen beeinflussen (Diener, Boten, etc.). Vernächlässigt man noch weitere Personen, so treten im Kurvenverlauf Änderungen auf, die aber - wie einige Versuche gezeigt haben - meist vernachlässigt werden können.

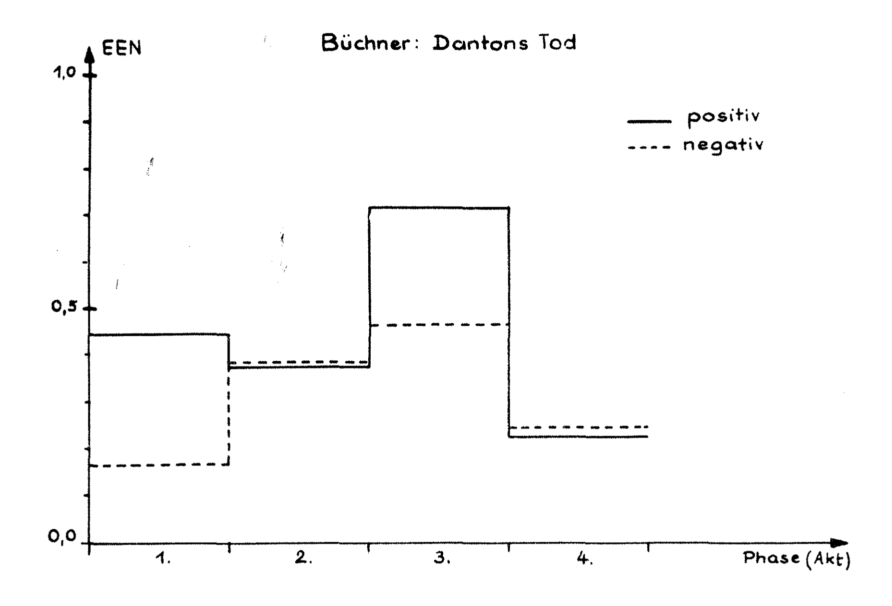
Eine weitere Frage ist, ob man in jeder Phase die kommunikative Struktur aller Personen oder nur die der dort auftretenden untersuchen soll. Auch hier hat sich gezeigt, daß die auftretenden Unterschiede im allgemeinen vernachlässigbar sind.

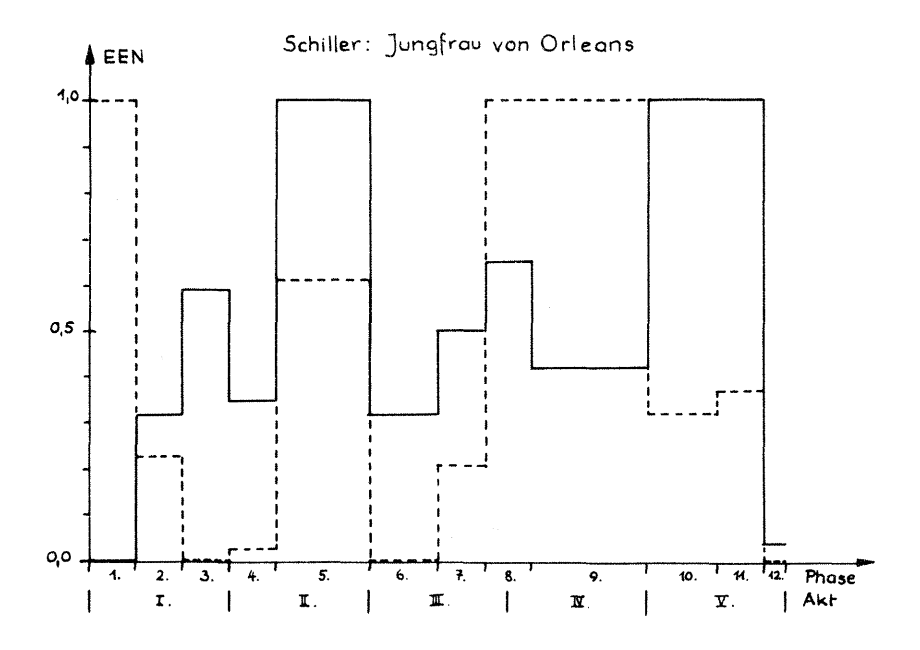
Bei den folgenden Beispielen für Entropiediagramme ist die Bewertungsskala +, 0, - zugrundegelegt und es wurden in jeder Phase nur die dort auftretenden Hauptpersonen (im obigen Sinne) berücksichtigt.

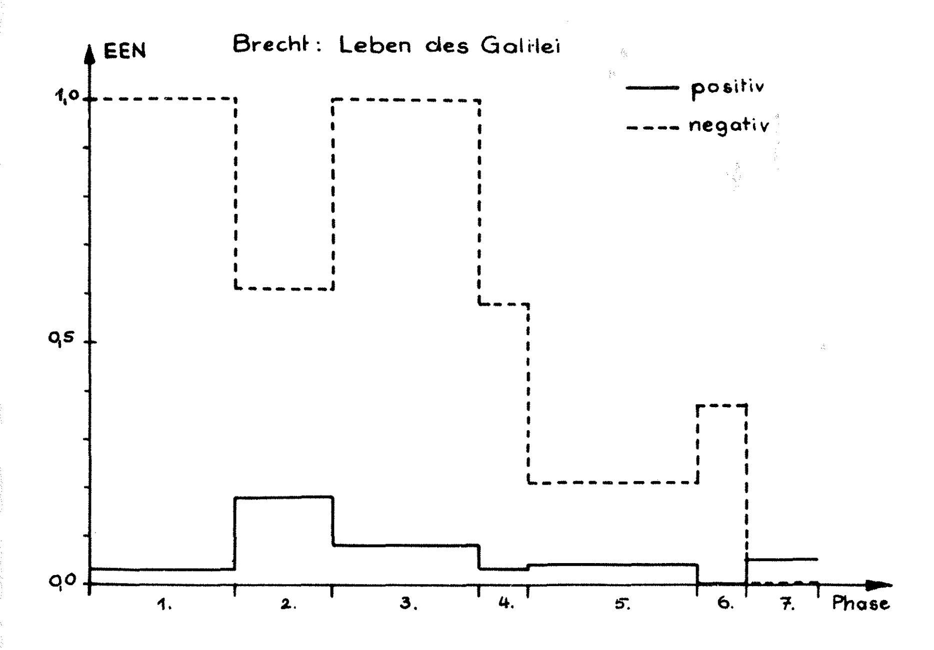
3. Erste Ergebnisse

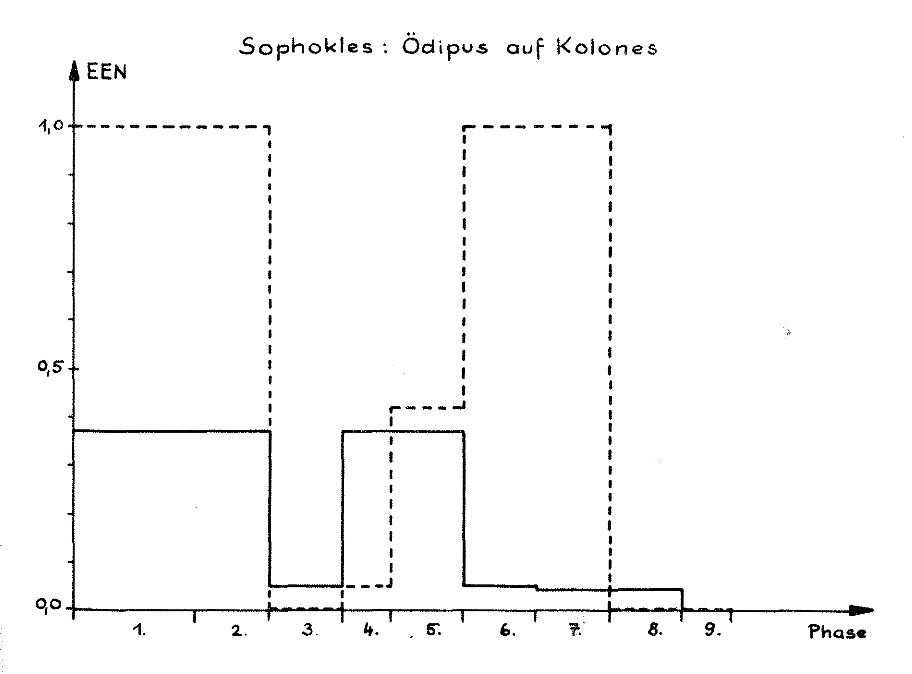
Die Gewinnung von ästhetischer Information (Bense, 1956) und damit das Auftreten eines ästhetischen Effekts ist nach der Theorie von Max Bense ein Redundanzprozeß, der gekennzeichnet ist "durch eine jeweils ungleichmäßige, geordnete und damit unwahrscheinliche Verteilung der Elemente" (Bense, 1956, S. 49).

Betrachtet man bei der vorliegenden Untersuchung in jedem Drama die gefundenen Wahlverteilungen, so wäre von der ästhetischen Theorie Benses her eine Tendenz zur unwahrscheinlichen Verteilung (im Sinne eines ästhetischen Effektes) zu erwarten. Es ist denkbar, daß sich für die kommunikative Struktur einer Personengruppe eine Art "Normalverteilung" finden läßt. Versuche mit Schulklassen haben gezeigt, daß sowohl bei positiven als auch bei negativen Wahlen ("Neben wem möchtest Du sitzen?"; "Neben wem möchtest Du nicht sitzen?") jeweils nur ein relativ kleiner Wertebereich für EEN realisiert wird. Der Durchschnittswert liegt im positiven Fall bei EEN = 0,13, im negativen bei EEN = 0,39 (Cube, 1964).


Büchner: Dantons Tod
EEN
1,0
0,5
0,0
positiv
negativ
1.
2.
3.
4.
Phase (Akt)


Schiller: Jungfrau von Orleans
EEN
1,0
0,5
0,0
1.
2.
3.
4.
5.
6.
7.
8.
9.
10.
11.
12.
Phase
I.
II.
III.
IV.
V.
Akt


Brecht: Leben des Galilei
EEN
1,0
0,5
0,0
positiv
negativ
1.
2.
3.
4.
5.
6.
7.
Phase


Sophokles: Ödipus auf Kolones
EEN
1,0
0,5
0,0
1.
2.
3.
4.
5.
6.
7.
8.
9.
Phase

Selbstverständlich können die bei Schulklassen gefundenen Werte noch nicht als Norm betrachtet werden; einmal handelt es sich nicht um Erwachsene, zum andern beruht die Zugehörigkeit zu einer Schulklasse auf äußerem Zwang, und außerdem wurden nur Wahlen nach einem bestimmten Kriterium getroffen. (Bei einer Gruppenbildung auf freiwilliger Basis werden die genannten Durchschnittswerte wohl noch etwas niedriger sein.)

Starke Abweichungen, vor allem in Richtung höherer Entropiewerte, von solchen postulierten Normwerten (wir beziehen uns zunächst auf die - nur als vorläufige Orientierungswerte geltenden - Ergebnisse bei Schulklassen) würden eine unwahrscheinliche Verteilung und damit einen ästhetischen Effekt darstellen. Daß ein solcher Effekt in jedem Drama mehr oder weniger häufig auftritt (und zwar sowohl für den positiven wie für den negativen Bereich) soll an einigen Entropiediagrammen gezeigt werden.

Unabhängig von dem aus den Beispielen ersichtlichen Effekt, kann man nun die Frage stellen, wie die Art und Weise der Aufeinanderfolge von höheren und niedrigeren Werten von EEN mit den einzelnen Situationen im Drama und mit seiner Gesamtthematik zusammenhängen.

Ganz allgemein ist zu sagen, daß ein Wert von EEN, der nahe bei 1 liegt, bedeutet, daß sich alle positiven (oder negativen) Beziehungen auf eine oder wenige Personen konzentrieren, daß also eine "Star"- oder "Igel"-Bildung vorhanden ist. Werte von EEN, die nahe bei Null liegen, zeigen dagegen, daß sich die Beziehungen gleichmäßig auf alle Personen verteilen.

Verschiedene Versuche lassen darauf schließen, daß je nach dem im Drama behandelten Problem der Gesamtverlauf des Entropiediagrammes eine ganz bestimmte Struktur annimmt. Es besteht dann die Möglichkeit, die Dramen hinsichtlich dieser Struktur zu klassifizieren und damit gleichzeitig eine Aussage über ihre Thematik zu machen.

Schrifttumsverzeichnis

Bense, Max: Ästhetica II, Agis-Verlag, Baden-Baden, 1956

von Cube, Felix/ Gunzenhäuser, Rul: Über die Entropie von Gruppen, Schnelle, Quickborn, 1963

von Cube, Felix: Experimente zur Gruppenentropie, 1964, GrKG, Heft 3/4

Moreno, J. L.: Die Grundlagen der Soziometrie, 1954, Westdeutscher Verlag, Köln und Opladen

Eingegangen am 11. Dezember 1964

VARIATIONEN VON FIGUREN IN DER STATISTISCHEN GRAFIK

von Georg N e e s, Erlangen

Bild 1 zeigt 280 Achtecke, deren Eckpunkte jeweils innerhalb eines Quadrats von 13 mm Kantenlänge zufällig gewählt wurden. In Bild 2 werden auf gleiche Weise 23-Ecke dargestellt. Das dreiundzwanzigste und erste Eck der 23-Ecke wird dabei durch eine Schräge verbunden, während die übrigen Ecken waagerecht oder senkrecht nebeneinander oder übereinander liegen.

In beiden Bildern wird nicht etwa von Figur zu Figur systematisch variiert, sondern die Einzelfiguren stellen zufällige Variationen ein und desselben Themas, nämlich des Acht- bzw. speziellen 23-Ecks dar.

Zum Zeichnen wurde die auch in der Notiz "Statistische Grafik" erwähnte Ausrüstung benutzt. Das Programmiersystem samt der unten erwähnten Anweisungen P und S ist in die Sprache ALGOL eingebettet. Als ALGOL-Übersetzer diente ALCOR MAINZ 2002. Eine Prozedur zum Fahren von Strecken stand zur Verfügung+), sie wurde Teil von P und S. Wir werden im folgenden etwas näher auf die Programmierung der Figurvariationen Bild 2 eingehen, Bild 1 entstand ganz ähnlich.

Wir unterscheiden gewisse Variable A, B, X, Y usw., denen Zahlenwerte zugewiesen werden können. Die Zuweisung etwa des Zahlenwerts von A an die Variable X drücken wir durch die Formel

X wird A

aus. Unter den Variablen sind zunächst die Grenzen JA und JE des Streuintervalls, d.h. desjenigen Zahlenintervalls ausgezeichnet, aus dem wir einen zufälligen Zahlenwert entnehmen. Die Variable für zufällige Zahlenwerte, wir sagen auch: Streuwerte, ist J. Zwei Zuweisungen

A wird J; B wird J

weisen also den Variablen A und B nicht den gleichen, sondern jeweils einen zufälligen Streuwert aus dem Intervall JA bis JE zu. Die Kommandogabe für das Zeichnen selbst geht folgendermaßen vor sich: Im Zeichenblatt ist kantenparallel ein Achsenkreuz X, Y definiert. Nicht zu große Werte von X und Y bestimmen also eindeutig einen Punkt auf dem Zeichenblatt. Es gibt nun zwei Zeichenanweisungen P und S mit folgender Bedeutung: P ("Positionierung") kommandiert den Zeichenstift an die Stelle X, Y.

+) Ich verdanke sie Frau G. Selz und Herrn H.-L. Haas

Die Anweisung S("Strecke") hingegen löst die Aufbringung der Strecke durch den Zeichenstift auf das Zeichenblatt aus, die von dem alten, noch gespeicherten Punkt X, Y zu einem neuen Punkt X´, Y´ führt. Der Anfangspunkt ist der Koordinatenursprung. Beispielsweise würde das Programm

```
X wird 1;  Y wird 1;  P;
X wird 2;  Y wird 2;  S
```

das Zeichen einer bestimmten 45°-Schräge der Länge $\sqrt{2}$ im ersten Quadranten des Achsenkreuzes auslösen.

Wir bringen nun das Zeichenprogramm zu Bild 2
(Längeneinheit = 1 Millimeter):

```
(1)   für M von O (in Schritten von 15)
(2)   bis 285:
(3)   { für U von O (in Schritten von 15)
(4)   bis 195:
(5)   [JA wird M + 1; JE wird M + 14;
(6)   A wird J; X wird A;
(7)   JA wird U + 1; JE wird U + 14;
(8)   B wird J; Y wird B; P;
(9)   für T von 1 (in Schritten von 1)
(10)  bis 11:
(11)  (JA wird M + 1; JE wird M + 14;
(12)  X wird J; S;
(13)  JA wird U + 1; JE wird U + 14;
(14)  Y wird J; S);
(15)  X wird A; Y wird B; S ]}
```

Das Programm zum Zeichnen der Einzelfiguren steht in eckigen Klammern (Zeilen (5) bis (15)). Die Zeilen (1) und (2) besorgen das Variieren der Einzelfigur längs der breiten Kante des Zeichenblattes, die Zeilen (3) und (4) das Variieren längs der schmalen Kante. Zur Einzelfigur: Durch die Zeilen (5) bis (8) wird der Zeichenstift zunächst zum Anfangspunkt des einzelnen 23-Ecks gebracht. Darauf erfolgt in den Zeilen (9) und (10) das Durchzählen einer Programmschleife, deren Wiederholungsteil in den Zeilen (11) bis (14) steht. Diese Programmschleife führt das Zeichnen von zweiundzwanzig aufeinanderfolgenden Seiten des 23-Ecks aus. In Zeile (15) schließlich erfolgt das Durchziehen des 23-Ecks zum Anfangspunkt A, B. Das Programm besitzt drei ineinandergeschachtelte Schleifen (geschweifte, eckige und runde Klammern).

Dem Leser wird empfohlen, nunmehr probeweise das Programm zu Bild 1 aufzustellen.

Bild 1

Bild 2

Will man statistische Zeichenexperimente ohne Rechenmaschine ausführen, so benutzt man als Zufallsgenerator am besten eine "Urne": Man legt in eine Schachtel zehn gleichartige Gegenstände (z.B. Dominosteine), die man mit den Ziffern 0 bis 9 beklebt hat. Zur Erzeugung einer n-stelligen Zufallszahl wiederholt man n-mal: Eine Ziffer blind aus der Schachtel ziehen, ihren Wert notieren, sie zurücklegen, die Schachtel schütteln. Die gewonnene n-stellige Zahl dividiert man durch 10 hoch n, multipliziert dann mit JE-JA und addiert schließlich JA.

Die beiden hier erwähnten Zufallsgeneratoren liefern gleichverteilte Zufallszahlen. Im Fall, daß aufeinanderfolgende Zufallszahlen übereinstimmen, können die gezeichneten Vielecke entarten.

Eingegangen am 12. November 1964

GRUNDLEGENDE MATERIALSAMMLUNG ZUR DEUTSCHEN SPRACHSTATISTIK

besprochen von Helmar Frank (Waiblingen), Berlin

Helmut Meier: Deutsche Sprachstatistik, Bd. I/II, Georg Olms Verlagsbuchhandlung, Hildesheim 1964 (406 + 144 Seiten)

In einer sich über vier Jahrzehnte erstreckenden, mühevollen Kleinarbeit ohne Zuhilfenahme von Datenverarbeitungsanlagen hat der Verfasser das Häufigkeitswörterbuch von Kaeding, von dem in Band 4 der GrKG eine auszugsweise Reproduktion enthalten ist, neu ausgewertet und durch zahlreiche eigene Auszählungen ergänzt. Die naheliegendste und für zahlreiche Forschungseinrichtungen praktisch wichtigste Arbeit ist auf S. 111 - 137 des zweiten Bandes geleistet: die Rangordnung der Wörter, die Kaeding auf S. 53-54 seines Werkes nur vom Rang 1 ("die") bis zum Rang 320 ("wenig") wiedergab, führt Meier nun bis zum Rang 7994 ("zeichnet") fort, wobei die Ränge von 7932 ("Abwehr") bis 7994 derselben absoluten Häufigkeit, nämlich 101, in den 10 910 777 Textwörtern des von Kaeding ausgewerteten Materials entsprechen. Zu beachten ist, daß Kaeding seine Rangliste unter Einschluß des Vorkommens der Wörter in Zusammensetzungen aufstellte (also aufgrund von Spalte 6 statt Spalte 2, S. 45-53), was die Benutzung erschwert. Meier hat erfreulicherweise diesen Mangel behoben (und überdies die neue Orthographie zugrundegelegt), was beträchtliche Verschiebungen der Ränge bewirkt hat ("wenig" rückt auf Rang 222 vor!).

Während diese Arbeit ohne prinzipielle Schwierigkeit heute auch unter Verwendung von Großrechenanlagen geleistet werden könnte, bringt der überwiegende Teil des umfangreichen Werkes (das mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft gedruckt und in seiner Endphase auch gefördert wurde) Auswertungen, die mindestens derzeit noch nicht automatisch durchführbar sind (Trennung homonymer Wörter!) und vor allem eine Fülle neuer Einsichten und Aspekte, die nur als Frucht repetitiver Kleinarbeit anfallen. Hierfür möge die Text-Kennzeichnung durch "Spektren" als Beispiel dienen. Meier teilt die Rangliste in 12 "Häufigkeitsstufen", ordnet jeder Stufe eine Spektralfarbe in der entsprechenden Anordnung zu (also Rot für die Stufe I, Orange für die Stufe II usf.), ersetzt in einem gegebenen Text jedes Wort durch die Stufe, der es angehört, und stellt die Häufigkeit dieser Stufenzeichen durch eine dazu proportionale Breite der zugeordneten Farbe innerhalb der Wiedergabe des Farbenspektrums dar. Im Anhang zum ersten Band gibt Meier 23 Spektren verschiedener Texte zum Vergleich mit dem Spektrum des Kaedingschen Mischtextes wieder. Diesem erweist sich unter den gegebenen Beispielen Thomas Manns Novelle "Unordnung und frühes Leid" in dieser Hinsicht als besonders ähnlich. Daneben gibt es Texte mit einer übermäßigen Verbreiterung des Violett-Anteils ("wortweite" Texte, z.B. der Inseratenteil einer Zeitung) und solche mit einer Verkümmerung dieses die Häufigkeit der Verwendung von Wörtern hoher Ränge anzeigenden Teils des Spektrums ("wortenge" Texte, die sowohl bei unzureichender Sprachbeherrschung wie auch als Äußerungen in Grenzsituationen entstehen können). Hochinteressant ist die Altersverteilung der deutschen Wörter über die Rangskala bzw. die

Meierschen Häufigkeitsstufen: 71 % der Wörter der ersten Stufe (Ränge 1-207) sind Erbgut, das schon vor dem Althochdeutschen gebraucht wurde, während bei der sechsten Stufe (Ränge 3296 - 4691) kaum 30 % der Wörter zu dieser Altersklasse gehören.

Aus der Fülle weiterer Untersuchungen, die Meier aufgrund des Kaedingschen Materials oder in Weiterführung der Arbeit Kaedings durchführte, sei nur die Anwendung der "Spektren"-Analyse in neun Wissenschaftsgebieten, die Lautstatistik und die Buchstabenstatistik mit ihrer Anwendbarkeit auf die Gestaltung von Tastenfeldern erwähnt.

Insgesamt handelt es sich keineswegs um ein sprödes Tabellenwerk, vielmehr ist das empirische Material graphisch, typographisch und insbesondere durch geist- und humorvolle erläuternde Texte so lebendig gestaltet, daß man in dem Lebenswerk Helmut Meiers mit Spannung liest, wo immer man es aufschlägt. Die Bedeutung, die es für die Informationswissenschaft in Deutschland haben wird, kann nicht hoch genug eingeschätzt werden.

Eingegangen am 19. Dezember 1964

KYBERNETISCHE VERANSTALTUNGEN

Das 3. Nürtinger Symposion über Lehrmaschinen wurde vorverlegt auf 18. - 20. März 1965. Vortragsanmeldungen zu einem der drei Rahmenthemen (Lehrprogrammtexte; Lehrmaschinen; Lehralgorithmen und Lehrmaschinenprogramme) können bis spätestens 15. Februar unter Beifügung einer Kurzfassung in doppelter Ausfertigung von höchstens einer Schreibmaschinenseite Umfang beim wissenschaftlichen Tagungsleiter (Prof. Dr. Helmar Frank, Institut für Kybernetik, 1 Berlin 46, Malteserstr. 74-100) eingereicht werden.

Die Kybernetik-Tagung der Deutschen Arbeitsgemeinschaft Kybernetik in Kiel wurde auf 31. August - 3. September 1965 verschoben. Fachleute, die Vorträge anzumelden wünschen, werden gebeten, ihre Vortragsthemen mit kurzer Inhaltsangabe auf ein bis zwei Schreibmaschinenseiten spätestens bis zum 28. Februar 1965 an den wissenschaftlichen Tagungsleiter (Prof. Dr. Werner Kroebel, Institut für Angewandte Physik, Kiel, Olshausenstraße) unter der Kennzeichnung "DAGK-Tagung Kiel 1965" einzusenden.

Die Schriftleitung bittet um laufende Benachrichtigung über geplante kybernetische Veranstaltungen im In- und Ausland.

DIE AUTOREN VON BAND 5 (1964)

Eckel, Karl	6472 Altenstadt, Schulstr. 19
Fischer, Dr. Hardi	Forschungsstelle für Arbeitspsychologie der ETH Zürich 7, Plattenstr. 26
Frank, Professor Dr. Helmar	(Waiblingen) jetzt: 1 Berlin 33, Altensteinstr. 39
Geißler, H.-G.	im Institut für Psychologie der Humboldt-Universität, Berlin C 2, Oranienburger Str. 18
Hengst, Professor Martin	1 Berlin 12, Giesebrechtstr. 8
Nees, Georg	Siemens-Schuckert-Werke ZEF/RZ 852 Erlangen, G. Scharowskystraße
Reichert, Waltraud	1 Berlin 46, Kaulbachstr. 12
Schnelle, Eberhard	2202 Barmstedt (Holstein), Küsterkamp
Stahl, Volker	8704 Uffenheim, Friedrich-Ebert-Str. 16
von Cube Professor Dr. Felix	7 Stuttgart-S, Im Lerchenrain 20
Weltner, Professor Dr. Klaus	45 Osnabrück, Delmenhorster Weg 2

INHALT VON BAND 5 (1964)

Heft 1 (Juli)

Heft 2 (Oktober)

Heft 3/4 (Dezember)

VORWORT DER SCHRIFTLEITUNG

Die Arbeit von Cyon und Ludwig spielt für die Geschichte der Biokybernetik eine noch nicht ganz geklärte Rolle. Bernhard Hassenstein schreibt (Naturwissenschaftliche Rundschau, Jahrgang 13, 1960, Heft 11):

"Auf dem biologischen Sektor gab schon 1866 der Physiologe Carl Ludwig die Beschreibung einer negativen Rückwirkung, und zwar für die Regulation des Blutkreislaufes (Cyon u. Ludwig 1866). Aus den Ergebnissen einer Reihe von Experimenten über die Folgen der Durchschneidung oder elektrischen Reizung verschiedener Herznerven zog er den Schluß: ´Gestützt auf die vorstehenden Entwicklüngen und Tatsachen glauben wir uns zu dem Ausspruch berechtigt, daß der nervus depressor auf reflektorischem Wege den Tonus in den Gefäßnerven herabzusetzen imstande sei... Zu den verschiedenen, schon bekannten Vorgängen, durch welche die einzelnen Stücke des Zirkulationsapparates sich gegenseitig anpassen, tritt hiermit ein neuer hinzu, und gewiß kein unwichtiger, denn durch ihn vermag der wesentliche Motor des Blutlaufes die Widerstände zu regeln, die er selbst überwinden soll. In dieser Beziehung darf man, ohne voreilig zu sein, wohl aussprechen, daß das Herz, wenn es aus Mangel an Propulsivkräften oder aus übermäßigem Zufluß überfüllt und infolge davon gereizt wird, nicht bloß seine Schlagzahlen ändern, sondern auch den seiner Entleerung entgegentretenden Widerstand herabsetzen wird.´ Hiermit ist ein Regelkreis in all seinen funktionellen Bestandteilen beschrieben: ´Übermäßiger´ Zufluß (Störung!) reizt das Herz (Registrierung der Störung!), worauf dieses über den nervus depressor eine Tonusabnahme der Gefäßnerven und damit eine Gefäßerweiterung bewirkt (negative Rückwirkung!), wodurch die Störung kompensiert wird."

Eine erheblich abweichende Interpretation dieser Untersuchung findet sich bei Richard Wagner ("Rückkoppelung und Regelung: ein Urprinzip des Lebenden". Nachtrag zum Vortrag, Naturwissenschaft, Bd. 48, 1961, S. 242-246):

"Als bisher bestes Beispiel für einen angeblich bereits früher entdeckten biologischen Regler (und zwar einen Halte-Regler) wird die berühmte Arbeit von E. Cyon und C. Ludwig angeführt, in der diese Autoren den blutdrucksenkenden Effekt des Nervus depressor entdeckten (1866). Nach Durchschneiden des Depressors reizten die Autoren den zentralen Depressorstumpf und sahen ein Absinken des Blutdruckes. Dieser Versuch ist keinesfalls der Nachweis eines Regelkreises. Er ist dies ebensowenig, als wenn jemand die zentralen Stümpfe durchschnittener Hinterwurzeln des Rückenmarks reizt und eine 'reflektorische' Hemmung bestimmter tätiger Skelettmuskeln dabei beobachtet. Erst dann, wenn man mit solchem Versuch beweisen könnte, daß bei nicht durchschnittenen Hinterwurzeln die hemmenden Impulse z. B. aus jenen Muskeln kommen, die gehemmt werden, wären Teilmechanismen in der Geschlossenheit eines biologischen Regelkreises erkannt und nachgewiesen worden. Nicht an-

ders war es bei Cyon und Ludwig. Sie wußten nicht und konnten nicht wissen, woher die afferenten hemmenden Impulse des Depressors kamen. Die beiden Forscher machten selbst in ihrer Arbeit auf diese offene Lücke als einen "dunklen Punkt" ihrer Arbeit aufmerksam, was späteren Autoren entgangen zu sein scheint. Sie vermuteten, die afferenten Impulse kämen aus dem Herzen selbst, und sie nahmen an, das Herz könne sich hierdurch für seine Druckentwicklung selbst entlasten, z.B. bei nachlassenden "Propulsivkräften". Wäre dies wirklich der Fall und wäre das Rezeptorfeld des Depressors im Herzen und nicht in der Aorta, dann hätten Cyon und Ludwig einen biologischen Regelkreis zwar auch noch nicht nachgewiesen, aber als erste einen solchen vermutet. Ohne die Lage des Rezeptorfeldes zu kennen, kann man nicht wissen, ob und wieweit es sich um einen in sich geschlossenen Wirkungskreis handelt und wie dieser funktioniert. Entdeckt wurde hier ein Reflex, und nur damit haben sich die Autoren experimentell befaßt, genauso wie z.B. auf dem Gebiet der Willkürmotorik sich C. S. Sherrington und P. Hofmann nur mit Reflexen und nicht mit Regelkreisen befaßt haben. Es kann also keine Rede davor sein, daß in der klassischen Arbeit von E. Cyon und C. Ludwig erstmals das Vorhandensein eines biologischen Regelmechanismus nachgewiesen wurde, wie es bei oberflächlicher Betrachtung vielleicht scheinen könnte. Eine Vermutung ist noch kein Nachweis, dies um so weniger, wenn sich selbst diese Vermutung deshalb nicht bestätigt, weil das Rezeptorfeld gar nicht im Herzen liegt."

Diese unterschiedliche Beurteilung desselben Textes durch zwei namhafte Vertreter der Biokybernetik veranlaßte die Schriftleitung der "Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft" eine Reproduktion der Originalarbeit ihren Lesern zur eigenen Urteilsbildung vorzulegen.

BERICHTE

ÜBER DIE

VERHANDLUNGEN

DER KÖNIGLICH SÄCHSISCHEN

GESELLSCHAFT DER WISSENSCHAFTEN

ZU LEIPZIG.

MATHEMATISCH-PHYSISCHE CLASSE.

1866.

Reproduktion der Arbeit von E. Cyon und C. Ludwig:

Die Reflexe eines der sensiblen Nerven des Herzens auf die motorischen der Blutgefässe.

Beiheft zu Band 5 (1964) der

GRUNDLAGENSTUDIEN AUS KYBERNETIK UND GEISTESWISSENSCHAFT

Original:

LEIPZIG

BEI S. HIRZEL.

1866.

SITZUNG AM 5. NOVEMBER 1866.

E. Cyon und **C. Ludwig**, *Die Reflexe eines der sensiblen Nerven des Herzens auf die motorischen der Blutgefässe.* Aus dem physiologischen Institut.

Mit 1 Tafel.

Die Reizung der Nerven, welche vom Gehirn und Rückenmark zum Herzen laufen, hatte, wenn wir den n. vagus ausnehmen, bis dahin keine wesentlichen Aufschlüsse gewährt: insbesondere war es bis jetzt unentschieden geblieben, ob die Erregung der genannten Nerven einen Einfluss auf die Zahl und den Umfang der Herzschläge übe. Der Mangel eines sichern Erfolgs ist um so auffallender, als die Nerven, um die es sich hier handelt, keineswegs von so unbedeutender Grösse sind, dass ihre Wirkung eine verschwindend kleine hätte sein müssen. Lag darum nicht der Gedanke nahe, dass die Aufmerksamkeit nach der falschen Seite hin gerichtet gewesen; vielleicht wirken die Nerven vom Herzen nach dem Gehirn, statt dass sie der bisherigen Annahme entsprechend Erregungen im entgegengesetzten Sinne übertragen? Von dieser Vermuthung geleitet nahmen wir uns vor, die centralen Stümpfe der durchschnittenen Herznerven zu reizen, und zu beachten, welche Folgen dieses für den Herzschlag und den Blutdruck nach sich zieht. Als den Ausgangspunkt für unsere Versuche wählten wir den Zweig, der sich vom Stamme des n. vagus hoch am Halse ablöst, und nach längerem gesonderten Verlauf in das ggl. stellatum einmündet. An diesem sehr bequem zu handhabenden Nerven wurde unsere Vermuthung sogleich bestätigt, indem wir fanden, dass er auf reflectorischem Wege den Blutdruck beträchtlich erniedrigen kann. Dieser Eigenschaft wegen schlagen wir vor, ihn künftig hin als nervus depressor zu bezeichnen.

Obwohl der n. depressor am lebenden Kaninchen leicht aufzufinden ist, so wollen wir doch, um jeder Verwechselung vorzubeugen, die anatomische Beschreibung seines Ursprungs und Verlaufs nicht unterlassen und beides durch eine Abbildung versinnlichen. Figur 1 lässt erkennen, dass der n. depressor mit zwei Wurzeln entspringt, die eine derselben geht aus dem Stamme des n. vagus selbst, die zweite aus einem seiner Äste, dem n. laryngeus sup. hervor. Statt eines doppelten Ursprungs hat er öfter auch nur einen einzigen, der dann gewöhnlich aus dem n. laryngeus erfolgt. Nachdem der Nerv selbständig geworden, wendet er sich zur art. carotis und legt sich dort in unmittelbarer Nähe des n. sympathicus, neben dem er, aber fortwährend von ihm getrennt, bis in die Nähe der obern Öffnung des Brustkastens hingeht. In vielen — mehr als 40 — Kaninchen haben wir nur einmal eine Ausnahme von dem bis dahin beschriebenen Verhalten gesehen. Sie bestand darin, dass der Nerv in der Mitte des Halses noch einmal zum Stamm des n. vagus einlenkte und in die Scheide desselben überging. An der Stelle des n. vagus, wo dieses geschah, zerklüftete sich dieser letztere in einen kleinen Plexus, und aus diesem ging der n. depressor von neuem gesondert hervor, um von da ab gewohnter Massen zu verlaufen. Die oben gegebene Beschreibung wird dazu dienen, um den ohnedies leicht zu findenden Nerven vor einer Verwechselung mit dem ramus descendens hypoglossi zu schützen. In der Figur 1, an welcher die in der Nähe liegenden Nerven durch die angeschriebenen Namen kenntlich sind, wurde die Lagerung derselben nicht naturgetreu wiedergegeben, weil dieses die Deutlichkeit des Ursprungs beeinträchtigt hätte. Eine einmalige Präparation der betreffenden Partie an der Kaninchenleiche wird einem Jeden genügen, um sich die fraglichen anatomischen Verhältnisse klar zu machen.

Beim Übergang unseres Nerven in die Brusthöhle wird sein Verlauf verwickelter, da er von nun an eine Verbindung mit den Nervenzweigen eingeht, welche aus dem ggl. stellatum hervortreten. Die anatomischen Verhältnisse dieser Partie sind in Figur 2 dargestellt, welche einer früheren Publikation *) entnommen ist. Das was die Zergliederung mit dem Messer erken-

*) *C. Ludwig* und *C. Thiry*, Wiener Sitzungsberichte. 49. Band. 1864.

nen lässt, ist in dieser Zeichnung deutlich angegeben. Wir brauchen darum zu ihr nur hinzuzufügen, dass die Stränge, welche aus den Ästen des ggl. stellatum und dem n. depressor bestehen, schliesslich zwischen dem Ursprunge der art. aorta und der art. pulmonalis sich in Ästchen auflösen, die sich in dem festen Bindegewebe der Verfolgung mit dem blossen Auge entziehen. Eine mikroskopische Durchforschung des weitern Verlaufs überlassen wir der Zukunft.

Die Versuche, welche wir beschreiben werden, sind durchweg an Kaninchen angestellt. Sie haben sämmtlich die Absicht, den Mitteldruck des Blutes in einer grössern Arterie und die Zahl der Pulsschläge in der Zeiteinheit zu messen. — Zur Zählung des Pulses benutzten wir einigemale das Federmanometer von *Ad. Fick*, gewöhnlich aber das Quecksilbermanometer, mit dem wir den Druck massen. Unser Manometer vollendete eine ganze Eigenschwingung in 0,84 Secunden, vorausgesetzt, dass es mit so viel Quecksilber gefüllt war, wie wir bei allen Versuchen angewendet haben, dass es ferner mit demselben Schwimmer belastet und mit der Glas-Feder, die mit Dinte gefüllt war, auf eine glatte Papiersorte schrieb. Die normale Pulszahl des Kaninchens pflegt bekanntlich nicht unter 150 in der Minute herabzusinken, so dass die Pulskurve mindestens doppelt so viele Wendepunkte in der Zeiteinheit darbietet, als diejenige, welche von den Eigenschwingungen des Manometers herrührte. Von allen andern Gründen abgesehen glauben wir darum den Zählungen des Herzschlags durch das Manometer vollkommenes Zutrauen schenken zu dürfen. Die Durchsicht unserer Pulskurven lehrt, dass diese Zuversicht auch bei viel seltnern Pulsschlägen als 150 in der Minute gerechtfertigt ist. In dem bei seltenem Pulsschlag sehr allmählig absinkenden diastolischen Schenkel der Pulskurve treten niemals Erhebungen ein in Zwischenräumen, wie sie durch die Dauer der Eigenschwingungen verlangt werden. Demnach reichen die Widerstände, welche dem Abfluss des Manometerinhaltes in das Gefässsystem hinein entgegenstehen, aus, um die Eigenschwingungen vollkommen zu vernichten.

Die genauern Zahlenangaben aus unsern Versuchen sind, um den Gang unserer Darstellungen nicht zu unterbrechen, an das Ende dieser Abhandlung verwiesen, mit fortlaufenden Num-

mern und mit Erläuterungen versehen. Wir werden im Text auf diese Nummern hinweisen.

Vor Allem war noch einmal festzustellen, dass die tetanische Reizung des peripherischen Stumpfes vom durchschnittenen n. depressor sich bei den von uns zur Beobachtung benützten Hülfsmitteln unwirksam erwies. So oft auch der Versuch angestellt wurde, jedesmal blieb Pulszahl und Blutdruck dadurch unverändert. Als Beispiel diene Versuch I.

In dem Augenblick aber, in welchem die reizenden Inductionsschläge den centralen Stumpf des durchschnittenen und wohl isolirten Nerven durchfuhren, begann der Blutdruck und zwar allmählig abzufallen. Hatte derselbe sich auf die Hälfte oder auf das Drittheil des vor der Reizung bestandenen erniedrigt, so blieb er nun bei fortdauernder Reizung auf diesem Werthe stehen, und erhob sich nach Beendigung der Reizung eben so allmählig wieder auf die Höhe, welche er vor dem Beginn des Versuches besessen hatte. Diese Änderung des Druckes beschränkte sich keineswegs auf das Blut in der Carotis, denn ein Manometer, das mit der Lichtung der art. cruralis in Verbindung steht, bietet genau dieselben Erscheinungen. Auch an der blossgelegten Aorta sind die Folgen der Reizung des n. depressor und zwar mit blossem Auge sichtbar, da die so bedeutende Erniedrigung des Drucks, wie zu erwarten stand, eine sehr merkliche Verminderung des Aortendurchmessers bedingt. Unser Phänomen dehnt sich also auf den Inhalt aller grossen Arterien aus. (Siehe die Beobachtungen I. II. III.)

Die Zeit, welche verstreicht, bevor der Druck von seinem normalen auf seinem niedrigsten Werth anlangt, ist in verschiedenen Thieren zwar nicht gleich gross, aber niemals sahen wir den Druck früher als nach fünfzehn Schlägen auf seiner geringsten Höhe ankommen. —

Nicht minder verschieden war der absolute Werth, um den sich der Mitteldruck änderte. Bei starker tetanischer Reizung der möglichst frischen Nerven sank er um 50 bis 70 mm. Quecksilber; in Verhältnisszahlen ausgedrückt, wobei der vor der Reizung gemessene Druck gleich 1,00 gesetzt wird, betrug das Minimum in der Regel zwischen 0,45 und 0,70. Ausnahmsweise trat auch noch ein stärkeres proportionales Sinken ein, wie z. B

in XI*b*, wo während der Reizung der Druck nur 0,27 von der Normalzahl betrug.

Gleichzeitig mit dem beginnenden Absinken des Drucks stellt sich auch eine Verminderung der Pulszahl ein, vorausgesetzt, dass man nur den n. depressor durchschnitten hatte, und trotzdem, dass die Isolation des gereizten Nervenendes vollkommen genug war, um jede Spur des Verdachtes zu beseitigen, als sei der in der Nähe liegende Stamm des n. vagus von dem reizenden Strom direkt getroffen worden. Die Änderung in der Pulszahl bleibt zudem, wenn auch der Stamm des n. vagus auf der gereizten Seite ausgeschnitten war, von dem Orte an, wo der n. laryngeus superior entspringt, bis zu dem, wo der n. vagus in die Brusthöhle eindringt. (Siehe Beobachtung IV und V. Zählung mit dem Manometer von *A. Fick.*)

Danach unterliegt es keinem Zweifel, dass die Änderung der Pulszahl durch die Reizung des n. depressor hervorgerufen ist. Verfolgt man den Gang, den die Schlagfolge des Herzens nimmt, etwas genauer, so gewahrt man ausnahmslos, dass die bedeutendste Verlangsamung auf den Beginn des Versuchs fällt, also namentlich in der Zeit am merklichsten hervortritt, während welcher der Druck von seiner normalen auf seine geringste Höhe herabsteigt. Wenn er dort angelangt ist, so beschleunigt sich der Puls in der Regel und zwar in dem Masse wieder, dass er oft ganz oder nahezu auf die Zahl zurückkommt, die er vor der Reizung besessen. (Siehe unter andern V *a.*) Wird nach kürzerer oder längerer Zeit die Reizung beendigt, so schlägt das Herz, während der Druck zu seinem normalen Werth zurückkehrt, gewöhnlich schneller als vor dem Beginn der Reizung.

Die ursprünglich auftauchende Vermuthung, dass das Sinken des Drucks durch die Verlangsamung des Pulsschlags hervorgerufen wäre, scheint uns schon durch diese Beobachtung widerlegt zu werden; es hätte doch der Druck, wäre die Pulsverlangsamung Ursache des Sinkens, wieder steigen müssen, nachdem die Schlagfolge des Herzens wieder rascher geworden war. Die ganze Erscheinungsweise der langsamen Pulsschläge gewährt überhaupt den Eindruck, als ob man es mit einer reflectorischen Reizung des n. vagus zu thun habe.

Diese letztere Unterstellung war natürlich leicht zu prüfen, sie wurde bestätigt, als wir zuerst die n. vagi beiderseits durchschnitten und darauf das centrale Ende des n. depressor reizten.

Geschah dieses, so sank der Druck auf 0,62, 0,53 etc., während sich die Pulszahl unverändert erhielt, oder nur um ein sehr Geringes, entweder unter oder über die Zahl schwankte, welche vor der Reizung anwesend war. (VI. Federmanometer VIII. *a.*)

Die Änderungen der Pulszahlen, welche wir vor oder nach Durchschneidung der Vagusstämme beobachteten, lässt sich, wie es scheint, leicht erklären. Wir betrachten zuerst den Fall wenn der n. depressor, während die n. vagi unversehrt sind, gereizt wird, in welchem, wie angeführt, die Pulszahlen nur so lange zu sinken pflegen, als der Druck noch nicht sehr niedrig geworden, dagegen sich trotz des bestehenden Nervenreizes wieder mehren, nachdem das Letztere eingetreten ist. Für gewöhnlich gibt der im Hirn vorhandene Druck zu der tonischen Erregung Veranlassung, die wir am n. vagus beobachten. Tritt zu diesem Reiz noch ein zweiter hinzu, wie er in unserm Fall durch den tetanisirten n. depressor ausgeübt wird, so muss die Zahl der Herzschläge natürlich noch weiter vermindert werden. Mit dem beginnenden Reiz vermindert sich aber sogleich der Blutdruck. Indem nun hierdurch einer der beiden Reize ausfällt, welche sich in den centralen Vagusenden summirten, kann es dahin kommen, dass trotz der bestehenden Erregung des n. depressor die Zahl der Pulse eben so gross wird, als sie vor jener Reizung gewesen war. — Wenn aber nach Durchschneidung der vagi während des Druckminimums in Folge der Reizung des n. depressor das Herz seltener schlägt, und umgekehrt rascher, wenn nach beendigter Reizung der Druck wieder ansteigt, so kann dieses als Folge eines Reizes angesehen werden, welchen das Blut unmittelbar auf die Flächen des Herzens ausübt. In der That ist nicht einzusehen, warum der Druck, welchen das Blut auf die innern Herzflächen ausübt, andere Folgen nach sich ziehen sollte, als wir sie in Folge anderer Druckursachen eintreten sehen. Diese wie es scheint natürliche Betrachtungsweise steht freilich im Widerspruch mit der von verschiedenen Seiten adoptirten Annahme von *Marey**), wonach das Herz um so häufiger schlagen soll, je geringere Widerstände sich seiner Entleerung entgegensetzen. Die Beweise, welche *Marey* für seine Behauptung vorbringt, erscheinen uns

*) La Circulation du Sang. Paris 1863. pag. 202 u. folg.

deshalb nicht ausreichend, weil er mit den Widerstandsänderungen, die er in dem Blutstrom anbrachte, auch den Druck innerhalb des Gehirns in gleichem Sinne wachsen liess. Da er z. B. die n. vagi nicht durchschnitten hatte, so konnten die stärkern vom Hirn ausgehenden Erregungen über die geringern Reize das Übergewicht erhalten, welche unmittelbar die Herzflächen angreifen.

Nachdem durch das Vorstehende eine einfache und wie es scheint genügende Erklärung für die durch die Reizung des n. depressor herbeigeführte Änderung in der Pulsfrequenz gegeben, und unabhängig hiervon gezeigt war, dass die Änderung des Drucks von derjenigen der Schlagfolge unabhängig ist, lag es uns ob den Mechanismus aufzusuchen, durch welchen das Sinken der arteriellen Spannung veranlasst war. Indem wir zunächst den Weg des Beweises durch Exclusion betraten, stellten wir fest, dass weder die Bewegungen des Brustkastens, noch die einer andern Skeletabtheilung in Frage kamen, denn die betreffende Erscheinung stellte sich auch noch ein, trotzdem dass der Brustkasten mittelst Durchschneidung des Sternums geöffnet, oder das Thier durch Curare vollständig narkotisirt war. Es versteht sich von selbst, dass wir in den eben genannten Versuchen die künstliche Respiration eingeleitet hatten. (V. und IX.)

Da durch die Curare-Vergiftung mit Ausnahme des Herzens und der Gefässmuskeln alle übrigen motorischen Theile ausser Thätigkeit treten, und da die Reizung des n. depressor auf reflectorischem Wege zur Geltung kam, so blieb nur noch übrig, eine reflectorisch hervorgerufene Minderung des Tonus anzunehmen, der auf das Herz und die Gefässmuskeln wirkt.

Um zu entscheiden, ob eine Verminderung der Herzkräfte oder eine solche der Widerstände in den kleinen Arterien in das Spiel kam, lösten wir zunächst das Herz aus dem Zusammenhang, den es mit dem Hirn und dem Rückenmark besitzt. Zu diesem Ende wurden die beiden n. vagi durchschnitten, und die ggl. stellata nicht blos sorgfältig herauspräparirt, sondern auch der Brusttheil des sympathischen Grenzstrangs bis zur zweiten Rippe hin vorsichtig entfernt. Die nach dem Tode mit Sorgfalt vorgenommene Zergliederung ergab, dass wir zweimal, unter den drei Versuchen, die wir überhaupt anstellten, unsere Absicht vollständig erreicht hatten. Alle jene Zweige, welche vom

ggl. stellatum zum Herzen gehen, waren eben so wie das Letztere selbst herausgeschnitten gewesen. Als an diesen so vorbereiteten Thieren das centrale Ende des n. depressor tetanisirt wurde, sank der Druck in der Carotis auf 0,45, 0,32, 0,46, 0,70, 0,42 herab, mit einem Worte, die von dem gereizten n. depressor hervorgebrachte Wirkung hatte sich unverändert erhalten, obwohl die einzigen Wege zerstört waren, durch welche der Reflex von dem Gehirn zum Herzen hätte gelangen können. (X, XI, XII.)

Es war jedoch nicht allein das schlagende Ergebniss der vorstehenden Versuche, welches uns bewog, ihre Zahl nicht weiter zu vermehren. Noch eine andere Erscheinung gibt einen deutlichen Fingerzeig dafür, dass die Reizung des n. depressor auf die Schlagkraft des Herzens ohne Einfluss ist. Der niedrige Stand des Blutdrucks zur Zeit der genannten Reizung kann nämlich sehr bald auf einen höhern, dem normalen gleichen gebracht werden, wenn man den Blutzufluss zum Herzen beschleunigt. So genügt es z. B., den Unterleib vom Becken gegen die Leber hin mit der Hand kräftig zu streichen, um den Stand des Quecksilbers, welcher durch den gereizten n. depressor gesunken war, alsbald wieder, wenn auch vorübergehend, empor zu treiben. (III, XI *b*.) Andererseits tritt das Steigen des Blutdrucks während der Reizung des n. depressor auch jedesmal ein, wenn die im Beginn der Curare-Vergiftung befindlichen Thiere in Krämpfe verfallen. (V *b*.) Diese Beobachtung steht dafür, dass das Herz mit ungeschwächter Kraft arbeitet, und dass weder an der Zahl, noch an der Stärke der Impulse, die von ihm ausgehen, der Grund für die Druckerniedrigung gesucht werden darf.

Somit blieb nichts anderes übrig, als die Erniedrigung des Drucks von einer Verminderung der Widerstände abzuleiten. Um diesen Schluss noch durch positive Beweise zu unterstützen, wendeten wir uns zu einigen Versuchen am n. splanchnicus und den von ihm abhängenden Gefässprovinzen; warum wir gerade diese Wahl trafen, wird dem begreiflich sein, der sich erinnert, dass schon früher nachgewiesen wurde, einen wie grossen Einfluss auf den Blutdruck in der Aorta die Lähmung oder Erregung der Gefässnerven des Unterleibs gewinnt. Weil es sich hier aber um eine genauere Würdigung des n. splanchnicus für seine Bedeutung als Gefässnerven handelte, haben wir zunächst

einige Versuche an ihm selbst angestellt, und da nach bekannten Erfahrungen der Zustand der Unterleibsgefässe schon durch die blosse Eröffnung der Unterleibshöhle eine wesentliche Änderung erfährt, so musste auch ihr zunächst die Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Unmittelbar nachdem die Bauchhöhle an dem sonst unverwundeten Thier durch einen ausgiebigen Schnitt in der linea alba eröffnet war, steigt der Blutdruck in der art. carotis sehr beträchtlich empor, und zugleich werden die Pulsschläge seltener. (XIII, XIV.) Diese Erhöhung des Blutdrucks ist jedoch nur vorübergehend; allmählig sinkt er ab, wenn die Bauchhöhle offen bleibt, und erreicht dann öfter einen Werth, welcher unterhalb des normalen ist. (XVII.) Dieses Absinken wird sehr beschleunigt, wenn man gleich nach Eröffnung der Unterleibshöhle einen der beiden n. splanchnici durchschneidet. Nach dieser Operation sinkt der Druck um 30—50 mm. unter den normalen. Fügt man darauf zur Verletzung des ersten auch noch die des zweiten n. splanchnicus, so sinkt der Druck zwar noch weiter herab, aber in viel geringerm Masse, als nach der Dissection des ersten Nerven, es beträgt nämlich die zweite Senkung nur noch 8–10 mm.

Nimmt man dagegen, nachdem das Absinken des Drucks in Folge der Durchschneidung des einen splanchnicus eingetreten ist, den peripherischen Stumpf des durchschnittenen Nerven zwischen die tetanisirenden Poldrähte, so steigt der Druck rasch und bedeutend empor und erlangt eine grössere Höhe, als sie vor der Durchschneidung des Nerven bestand. Dieses geschieht jedoch nur dann, wenn man den peripherischen Stumpf des durchschnittenen Nerven erregt. Aus der Reizung des centralen sahen wir (vielleicht nur zufällig?) keine Folgen für den Blutdruck hervorgehen. Diese Thatsachen lehren also, dass der n. splanchnicus diejenigen Fäden enthält, durch welche vorzugsweise jene Gefässe versorgt werden, welche für den Blutdruck bedeutungsvoll sind, und sie lehren nächstdem, dass die Reizung des genannten Nerven ähnliche Folgen bedingt, wie man sie aus der Compression der Aorta unmittelbar unter dem Zwerchfell schon von früher her kennt.

Nachdem dieses festgestellt war, unternahmen wir die Reizung des n. depressor an solchen Thieren, bei denen entweder die n. splanchnici durchschnitten waren, oder bei denen die

Aorta sogleich unterhalb des Zwerchfells bis zum Verschluss ihrer Lichtung zusammengedrückt war. Die Überlegung, welche uns zu diesen Versuchen führte, war einfach die, dass die Reizung des n. depressor entweder von gar keinen, oder von nur sehr geringen Folgen begleitet sein müsste, wenn seine Wirkung in der That darauf beruht, dass er auf reflectorischem Wege den Tonus der Arterienwandungen überhaupt, insbesondere aber den der Visceralarterien herabsetzt. Im ersteren Fall (nach Durchschneidung des n. splanchnicus) war dann das, was durch die Reizung des n. depressor herbeigeführt werden soll, im wesentlichen schon eingetreten, und im zweiten Fall (Compression der Aorta) konnte die Reizung des n. depressor natürlich nicht zur Wirkung auf die Unterleibsgefässe gelangen.

Nach beiden Richtungen hin hat der Versuch die Voraussetzung bestätigt. Der Reiz, welcher nach Durchschneidung eines n. splanchnicus auf den n. depressor trifft, bedingt zwar noch ein Absinken des Blutdrucks, aber dieses ist seinem absoluten Werthe nach viel geringer, als es vor Durchschneidung und Reizung der betreffenden Nerven eintrat, es beträgt etwa noch 11 bis 12 mm. Quecksilber. Obwohl, nach absolutem Werthe gemessen, das Sinken des Drucks unbedeutend ist, so ist es doch relativ immer noch merklich; denn setzt man den Druck nach Durchschneidung des n. splanchnicus und vor der Reizung des n. depressor gleich 1,00, so ist der während der Reizung des n. depressor vorhandene Druck gleich 0,70 bis 0,65. (XV.) Daraus geht hervor, dass die Reizung des Nerven von grösserer Bedeutung ist, als die Durchschneidung eines n. splanchnicus. Die Reizung ist aber auch noch wirksam nach der Durchschneidung beider n. splanchnici, denn abermals erfolgt nach Ausführung dieser Operation durch die nun eingeleitete Reizung des n. depressor noch ein Sinken des Blutdrucks; dieses Letztere ist jedoch seinem proportionalen und absoluten Werth nach viel geringer, als es während der Reizung nach Durchschneidung nur eines n. splanchnicus eintritt. (XV *b.*) Immerhin zeigt aber diese Erscheinung, dass die reflectorische Wirkung des n. depressor über das Gebiet der Unterleibsgefässe hinausgeht.

Zu einem ähnlichen Schluss führt die Compression der Aorta. Auch nach Ausführung dieses Handgriffs sahen wir, dass die Reizung des n. depressor, absolut und relativ genom-

men, noch in beschränktem Masse auf die Erniedrigung des Blutdrucks wirkte. In einem Falle sahen wir sogar die Erregung des n. depressor durch die Compression der Aorta vollkommen wirkungslos werden. (XVIII.) Gesetzt auch, wir wollten diesem vereinzelten Fall keine Geltung zuschreiben, so würde aus dem übrigen doch immer hervorgehen, dass der n. depressor in einer bevorzugten Beziehung zu den n. splanchnicis besteht. Die Compression der Aorta erzeugt einen so hohen Druck, dass wenn durch die Reizung unseres Nerven die noch offnen Arterien bedeutend erschlafft würden, durch sie ein sehr ausgiebiger Strom erfolgen müsste; demnach hätte unter dieser Voraussetzung durch Reizung des n. depressor mindestens eine bedeutendere absolute Herabsetzung des Drucks erfolgen müssen. Dieses war aber, wie wir sahen, nicht geschehen.

Den unmittelbarsten Beweis für die von uns vertretene Annahme über die Wirkung des n. depressor musste endlich die Betrachtung der Unterleibsorgane liefern. Wenn in den kleinen Arterien der genannten Gebilde der Widerstand beträchtlicher abnimmt, als in den entsprechenden Zuflüssen zu andern Organen, so war zu erwarten, dass sich in den Capillaren und Venen der Unterleibsorgane ein vermehrter Gehalt von Blut einfinden werde. Ob die Blutanhäufung aber gross genug werden würde, um für das blosse Auge schon deutlich hervorzutreten, muss freilich dahingestellt bleiben, da offenbar mit dem vermehrten Zufluss auch der Abfluss gewachsen ist. Wir zweifeln jedoch nicht, dass man in günstigen Fällen an den blossgelegten Schleimhautflächen des Magens und Dünndarms die Röthung gewahren werde, die wir in Folge der Reizung des n. depressor voraussetzen. Um den Einwendungen auszuweichen, welche man mit mehr oder weniger Recht den Versuchen an einem verstümmelten Organ machen könnte, haben wir lieber die Niere beobachtet. An ihr tritt nun auch in ganz unverfänglicher Weise mit der Reizung des n. depressor die Röthung ein, und sie verschwindet, wenn die Erregung des Nerven vorüber ist. Zu diesem sehr augenfälligen Versuch eignet sich jedoch die Niere nicht immer. Bekanntlich wechselt der Tonus in den kleinen Arterien der Niere mit vielen und unbekannten Umständen in der mannichfachsten Weise, so dass die blossgelegte Niere bald tief- und bald blassroth anzusehen ist. Hat man eine Niere von der letztern Färbung vor sich, dann wird na-

türlich auch der Versuch, durch Reizung des n. depressor eine Farbenänderung hervorzurufen, vorzugsweise gelingen; und diess haben wir nun in der oben beschriebenen Weise wiederholt sich ereignen gesehen.

Gestützt auf die vorstehenden Entwickelungen und Thatsachen glauben wir uns zu dem Ausspruch berechtigt, dass der n. depressor auf reflectorischem Wege den Tonus in den Gefässnerven herabzusetzen im Stande sei. Für die Lehre von den reflectorischen Hemmungen im Bereich der Gefässnerven gibt er den schlagendsten Versuch. Im Gegensatz zu den Beobachtungen *Lovèns* zeigt unser Nerv die Eigenthümlichkeit, den Reiz jedesmal, ohne dass eine Erhöhung des Tonus vorausgegangen, mit einer Erniedrigung desselben zu beantworten. In allen Thieren haben wir den Versuch gelingen sehen, so dass wir ihn für einen der sichersten Reizversuche halten müssen, der ebenbürtig zur Seite steht den entsprechenden des Halsstammes vom n. vagus auf das Herz, der chorda tympani auf die Gefässe der gland. submaxillaris, des n. erigens auf das Schwellgewebe des männlichen Gliedes.

Ausser der Bedeutung, die die Reizung des n. depressor für die Lehre von den Nervenwirkungen gewinnt, ist dieselbe nicht minder bemerkenswerth für die Beurtheilung der Erscheinungen des Blutkreislaufes.

Zu den verschiedenen schon bekannten Vorgängen, durch welche die einzelnen Stücke des Cirkulationsapparates sich gegenseitig anpassen, tritt hiermit ein neuer hinzu und gewiss kein unwichtiger, denn durch ihn vermag der wesentlichste Motor des Blutlaufs die Widerstände zu regeln, die er selbst überwinden soll. In dieser Beziehung darf man, ohne voreilig zu sein, wohl aussprechen, dass das Herz, wenn es aus Mangel an Propulsivkräften oder aus übermässigem Zufluss überfüllt und in Folge davon gereizt wird, nicht blos seine Schlagzahlen ändern, sondern auch den seiner Entleerung entgegentretenden Widerstand herabsetzen wird.

Von den zahlreichen und neuen Fragen, welche in Folge dieser Anschauung sich erheben, haben wir bis dahin nur eine in Angriff nehmen können; sie bezieht sich darauf, ob die Herzenden des n. depressor etwa in einer dauernden Erregung sind. Um hierüber Aufschluss zu erhalten, haben wir den Blutdruck in der art. carotis bestimmt und darauf beide n. depressores

durchschnitten und einige Zeit nachher von neuem den Blutdruck gemessen. Die Durchschneidung hatte, vorausgesetzt, dass die unmittelbaren Folgen der Verletzung vorüber waren, keine Veränderung des gemessenen Werthes zur Folge. (XIX).

Wir dürfen aber nicht schliessen, ohne einen noch dunklen Punkt zu berühren. Die unmittelbare Reizung des Herzens beschleunigt seine Schlagfolge, die Reizung des n. depressor, den man unter die sensiblen, beziehungsweise reflectorischen Nerven des Herzens zählen muss, bedingt an dem sonst unverstümmelten Thier eine Verminderung der Schlagzahlen. Wie ist dieser Widerspruch zu lösen? Hierauf wird der Versuch genügend antworten können, wenn die Lage der Herzenden des nerv. depressor, sei es auf anatomischem oder physiologischem Wege, ermittelt ist. —

I. Reizung des durchschnittenen n. depressor nach einander am peripherischen und am centralen Stumpf.

	Druck in M. M. Hg.	Pulszahl in d. Zeiteinheit	Verhältnisszahl der Drücker	Verhältnisszahl der Pulse	Bemerkungen.
a. Ein n. vagus ausgeschnitten.					
Vor der Reizung . . .	104	34	1,00	1,00	
Reizung am peripherischen Stumpf	104	34	1,00	1,00	
Reizung d. centralen Stumpfes im Beginn . . .	69	30	0,66	0,88	
Reizung d. centralen Stumpfes später	55	39	0,52	1,14	
nach der Reizung im Beginn	65	40	0,62	1,17	
nach der Reizung später	72	38	0,70	1,12	
nach der Reizung später	88	38	0,84	1,12	
b. Beide n. vagi durchschnitten. Reizung des n. depressor wie *a* auf der entgegengesetzten Seite.					
Vor der Reizung . . .	101	46,5	1,00	1,00	
Reizung d. peripherischen Stumpfes	101	46	1,00	1,00	
Reizung d. centralen Stumpfes im Beginn . . .	59	40	0,59	0,86	
Reizung d. centralen Stumpfes später	49	39	0,49	0,84	
nach der Reizung . . .	89	44,5	0,85	0,95	

II. Reizung des undurchschnittenen n. depressor am unvergifteten Thier.

	Druck in M. M. Hg.	Pulszahl in d. Zeiteinheit	Verhältnisszahl der Drücker	Verhältnisszahl der Pulse	Bemerkungen.
a. Beide n. vagi unverletzt.					
Vor der Reizung . . .	81	16	1,00	1,00	
Während der Reizung . .	40	10	0,49	0,62	
b.					
Vor der Reizung . . .	87	15	1,00	1,00	
Während der Reizung im Beginn	—	9,5	—	0,63	
Während d. Reizung später	61	9,75	0,71	0,63	
Während der Reizung verstärkt	59	9,5	0,70	0,63	
c. Beide n. vagi durchschnitten.					
Vor der Reizung . . .	84	19	1,00	1,00	
Während der Reizung . .	44	17	0,52	0,90	

III. Reizung des undurchschnittenen n. depressor am unvergifteten Thier. Druck in der art. carotis. Ein n. vagus durchschnitten.

	Druck in M. M. Hg.	Pulszahl in d. Zeiteinheit	Verhältnisszahl der Drücker	Verhältnisszahl der Pulse	Bemerkungen.
a.					
Vor der Reizung im Beginn	114	62	1,00	1,00	
Während der Reizung im Beginn	—	42	—	0,67	
Während d. Reizung später	82	48	0,72	0,77	
» » » »	71	37	0,62	0,60	
» » » »	76	46	0,66	0,74	
» » » »	79	55	0,69	0,89	
» » » »	108	—	0,94	—	Ein Zusammendrükken d. Unterleibes.
» » » »	91	—	0,80	—	Wiederaufheben des Drucks.

IV. Reizung des n. depressor am unvergifteten Thiere.

	Zahl der Pulse in der Zeiteinheit	Verhältnisszahlen der Pulse vor der Reizung = 100	Bemerkungen.
a. n. n. vagi unverletzt. Pulszählung durch das Federmanometer v. *Fick*.			
Vor der Reizung . . .	28	100	
Während der Reizung im Beginn	17	0,60	Der Druck erreicht sein Minimum.
Während d. Reizung später	20	0,71	Der Druck bleibt wie oben.
Nach Ende der Reizung im Beginn	27	0,96	
Nach Ende der Reizung später	21,5	0,77	Der Druck erreicht den Stand vor d. Reizung.
Nach Ende der Reizung später	19,0	0,68	Der Druck bleibt unverändert.
b. Ein n. vagus durchschnitten.			
Vor der Reizung . . .	21,5	1,000	
Während der Reizung im Beginn	13	0,64	Das Minimum d. Drucks trat ein, als die Zahl der Pulse schon wieder im Steigen begriffen war.
Während d. Reizung später	16	0,74	

V. Ein vagus ausgeschnitten. Reizung des undurchschnittenen n. depressor.

	Druck in M. M. Hg.	Pulszahl in d. Zeiteinheit	Verhältnisszahl		Bemerkungen.
			der Drücker	der Pulse	
a. Unvergiftetes Thier.					
Vor der Reizung . . .	114	62	1,00	1,00	
Während der Reizung im Beginn	—	40	—	0,64	
Während d. Reizung später	47	60	0,41	0,97	
» » » »	42	57	0,37	0,92	
Nach der Reizung . . .	90	75	0,80	1,21	
Nach der Reizung später	114	66	1,00	1,06	

	Druck in M. M. Hg.	Pulszahl in d. Zeiteinheit	Verhältnisszahl der Drücker	Verhältnisszahl der Pulse	Bemerkungen.
b. Schwache Vergiftung mit Curare. Künstliche Respiration.					
Vor der Reizung . . .	177	57	1,00	1,00	
Während der Reizung . .	120	57	0,68	1,00	
Während d. Reizung später	157	67	0,88	1,17	Krämpfe des Thieres.
» » » »	128	57	0,72	1,00	Nachlass d. Krämpfe.

VI. Beide n. vagi ausgeschnitten. Pulszählung durch das Federmanometer.

	Zahl der Pulse in der Zeiteinheit	Verhältnisszahlen der Pulse vor der Reizung = 100	Bemerkungen.
Vor der Reizung . . .	103	1,00	
Während der Reizung . .	99	0,96	Der Druck erreicht sein Minimum.
Reizung beendet . . .	141	1,37	Der Druck steigt auf seinen frühern Werth.
Neue Reizung	145	1,40	Der Druck sinkt, aber nicht so tief wie während der ersten Reizg.

VII. Curare-Vergiftung. Beide n. vagi durchschnitten. Brusthöhle nicht eröffnet. Reizung der centralen Stümpfe des n. laryngeus sup. und des n. depressor.

	Druck in M. M. Hg.	Pulszahl in d. Zeiteinheit	Verhältnisszahl der Drücker	Verhältnisszahl der Pulse	Bemerkungen.
a. Linke Seite.					
Vor der Reizung . . .	114	—	1,00	—	
Während der Reizung des n. laryngeus	160	—	1,40	—	
Während der Reizung des n. depressor	71	—	0,62	—	

	Druck in M. M. Hg.	Pulszahl in d. Zeiteinheit	Verhältnisszahl der Drücker	Verhältnisszahl der Pulse	Bemerkungen.
b. Rechte Seite.					
Vor der Reizung . . .	97	—	1,00	—	
Während der Reizung des depressor	72	—	0,74	—	
Nach Beendigung d. Reizg.	101	—	1,04	—	
c.					
Vor der Reizung . . .	93	—	1,00	—	
Während der Reizung des laryngeus	158	—	1,70	—	Reizung auf mechanischem Wege.
Nach Endigung d. Reizung.	103	—	1,10	—	

VIII. Curare-Vergiftung; beide n. vagi durchschnitten.

	Druck in M. M. Hg.	Pulszahl in d. Zeiteinheit	Verhältnisszahl der Drücker	Verhältnisszahl der Pulse	Bemerkungen.
a.					
Vor d. Reizung der Nerven	107	61,5 56 56	1,00	1,00	Die Verhältnisszahlen der Pulse beziehen sich auf den Mittelwerth aus den einzelnen Beobachtungen.
Während der Reizung des n. depressor	57	50 60,7 55 49	0,53	0,92	
b. Reizung am centralen Vagus-Stumpf unterhalb des Ursprungs vom n. depressor und am centralen Stumpf des n. depressor.					
Vor der Reizung . . .	101	—	1,00	—	
Reizg. des Vagus-Stumpfes	127	—	1,25	—	
Reizung des n. depressor	69	—	0,68	—	

IX. Curare-Vergiftung. Ein n. vagus durchschnitten, n. depressor am centralen Stumpf.

	Druck in M. M. Hg.	Pulszahl in d. Zeiteinheit	Verhältnisszahl der Drücker	Verhältnisszahl der Pulse	Bemerkungen.
a. Künstliche Respiration bei geschlossenem Brustkasten.					
Vor der Reizung . . .	114	47	1,00	1,00	
Während der Reizung . .	53	20	0,46	0,42	
b. Brustkasten geöffnet.					
Vor der Reizung . . .	87	—	1,00	—	
Während der Reizung . .	24	—	0,27	—	
Vor der Reizung . . .	98	37	1,00	1,00	
Während der Reizung . .	34	13	0,34	0,35	

X. Curare-Vergiftung. Die beiden ggl. stellata bis auf einen Verbindungszweig zum Herzen vollkommen zerstört. Reizung des centralen Stumpfes vom n. depressor.

	Druck in M. M. Hg.	Pulszahl in d. Zeiteinheit	Verhältnisszahl der Drücker	Verhältnisszahl der Pulse	Bemerkungen.
a.					
Vor der Reizung . . .	89	—	1,00	—	
Während der Reizung . .	40	—	0,45	—	
b.					
Vor der Reizung . . .	91	—	1,00	—	
Während der Reizung . .	29	—	0,32	—	

XI. Beide n. vagi ausgeschnitten; ggl. stellata vollständig zerstört und den Grenzstrang des n. sympathicus bis zur zweiten Rippe. Curare-Vergiftung. Reizung am centralen Ende des n. depressor.

	Druck in M. M. Hg.	Pulszahl in d. Zeiteinheit	Verhältnisszahl der Drücker	Verhältnisszahl der Pulse	Bemerkungen.
a.					
Vor der Reizung . . .	105	22	1,00	1,00	
Während der Reizung . .	49	22	0,46	1,00	

	Druck in M. M. Hg.	Pulszahl in d. Zeiteinheit	Verhältnisszahl		Bemerkungen.
			der Drücker	der Pulse	
b.					
Vor der Reizung . . .	84	—	1,00	—	
Vor der Reizung . . .	93	—	—	—	
Während der Reizung . .	59	—	0,70	—	
Während d. Reizung später	84	—	1,00	—	Zusammendrücken des Unterleibes.
Während d. Reizung später	59	—	0,70	—	Der Druck aus dem Unterleib wird aufgehoben.

XII. Beide ggl. stellata und n. vagi ausgeschnitten, n. depressor am centralen Ende gereizt.

	Druck in M. M. Hg.	Pulszahl in d. Zeiteinheit	Verhältnisszahl		Bemerkungen.
			der Drücker	der Pulse	
Vor der Reizung . . .	108	—	1,00	—	
Während der Reizung . .	46	23	0,42	—	
Nach der Reizung . . .	120	22	1,11	—	

XIII. Änderungen des Blutdrucks durch Eröffnung der Unterleibshöhle am übrigens unverletzten Thier.

	Druck in M. M. Hg.	Pulszahl in d. Zeiteinheit	Verhältnisszahl		Bemerkungen.
			der Drücker	der Pulse	
a.					
Vor Eröffnung der Bauchhöhle	114	—	—	—	
Unmittelbar nach Eröffnung	158	—	—	—	Vollständige Ruhe des Thieres.
Verschluss der aorta abd.	169	—	—	—	

XIV. Druck während der geöffneten Bauchhöhle.

	Druck in M. M. Hg.	Pulszahl in d. Zeiteinheit	Verhältnisszahl der Drücker	Verhältnisszahl der Pulse	Bemerkungen.
a. Das Thier im Übrigen unversehrt.					
Vor Eröffnung der Bauchhöhle	89	28	—	—	
Sogleich nach Eröffnung der Bauchhöhle . . .	149	28	—	—	
Später nach Eröffnung der Bauchhöhle	147	8(?)	—	—	
b. Curare-Vergiftung. Durchschneidung beider n. vagi. Eröffnung der Brusthöhle. Reizung des n. depressor am centralen Stumpf.					
Vor der Reizung . . .	100	30	—	—	
Während der Reizung . .	63	33 30 29	— - —	— — —	

XV. Beide n. vagi durchschnitten und Durchschneidung erst eines, dann des andern n. splanchnicus.

	Druck in M. M. Hg.	Pulszahl in d. Zeiteinheit	Verhältnisszahl der Drücker	Verhältnisszahl der Pulse	Bemerkungen.
a. Ein n. splanchnicus durchschnitten, n. depressor gereizt.					
Vor der Reizung . . .	39,5	54	1,00	1,00	
Während der Reizung des n. depressor	27,0	61	0,68	1,13	
b. n. splanchnicus gereizt oder Druck auf den Dünndarm.					
Vor der Reizung . . .	41	64	1,00	1,00	
Während des Drucks im Beginn	50	68	1,22	1,06	
Während d. Drucks später	57		1,39		
n. splanchnicus gereizt	115,5	76	2,80	1,18	
c. Durchschneidung des zweiten n. splanchnicus.					
Vor Reizung d. n. depressor	31,5	—	1,00	—	
Reizung des n. depressor	29	—	0,92	—	

XVI. Ein n. splanchnicus und beide n. vagi durchschnitten. Reizung des n. depressor und eines n. splanchnicus.

	Druck in M. M. Hg.	Pulszahl in d. Zeiteinheit	Verhältnisszahl der Drücker	Verhältnisszahl der Pulse	Bemerkungen.
a. Reizung des n. depressor ohne u. mit Druck auf die art. aorta unterhalb der Nierenarterie.					
Vor der Reizung . . .	44	{100 {102	1,00 —	— —	
Reizg. d. n. depressor ohne Compression der aorta	32	106	0,72	—	
Reizg. d. n. depressor mit Compression der aorta	32	—	0,72	—	
b. Reizung des n. splanchnicus in seinem Verlauf nach Durchschneidung desselben am centralen u. peripherischen Stumpf.					
Vor der Reizung . . .	50	—	1,00	—	
Reizung d. n. splanchnicus vor Durchschneidung	88	—	1,76	—	
Reizungs eines peripherischen Stumpfes . . .	84	—	1,68	—	
Reizung seines centralen Stumpfes	50	—	1,00	—	

XVII. Curare-Vergiftung. Reizung des n. depressor bei gleichzeitigem Verschluss der aorta unmittelbar unterhalb des Zwerchfells.

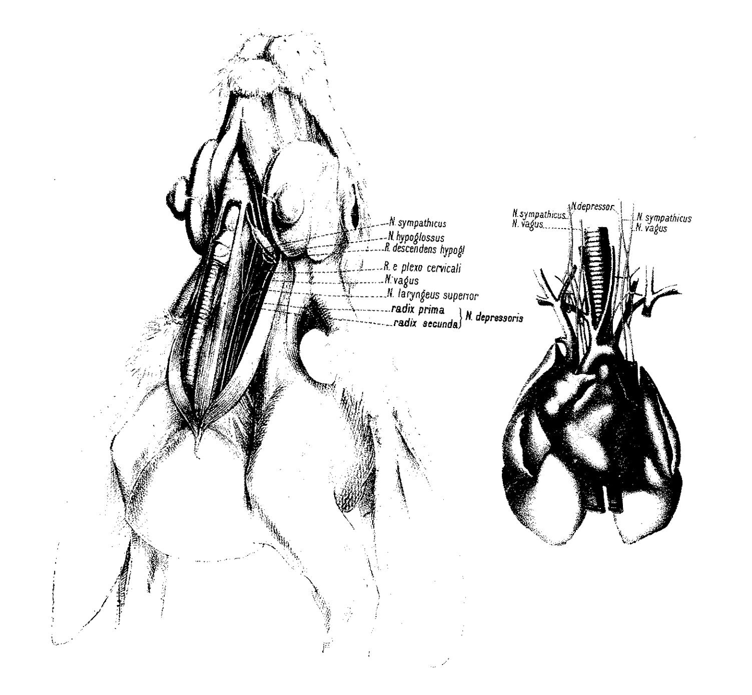
	Druck in M. M. Hg.	Pulszahl in d. Zeiteinheit	Verhältnisszahl der Drücker	Verhältnisszahl der Pulse	Bemerkungen.
Bei offener Bauchhöhle im Beginn	87	—	—	—	
Bei offener Bauchhöhle später	42	—	—	—	
Verschluss der aorta . .	—	10	—	—	
Verschluss der aorta dauernd	143	22	1,00	1,00	
Reizung des n. depressor	134	10	0,94	0,45	
Reizung beendigt; Druck auf die aorta fortdauernd	146	24	—	—	
Aortendruck beendet . .	42	—	—	—	
Alsbald	87	—	—	—	

XVIII. Der n. depressor gereizt, während die art. aorta unterhalb des Zwerchfells comprimirt wird.

	Druck in M. M. Hg.	Pulszahl in d. Zeiteinheit	Verhältnisszahl der Drücker	Verhältnisszahl der Pulse	Bemerkungen.
Ohne Compression u. ohne Reizung	47	20	—	—	
Compression ohne Reizung	105	16	—	—	
Compression mit Reizung	105	14	—	—	
Ohne Compression mit Reizung	38	20	—	—	
Ohne Compression ohne Reizung	47	18	—	—	

XIX. Pulszahl und Blutdruck vor, unmittelbar nach, und einige Zeit nach der Durchschneidung beider n. depressores.

	Druck in M. M. Hg.	Pulszahl in d. Zeiteinheit	Verhältnisszahl. der Drücker	Verhältnisszahl. der Pulse	Bemerkungen.
a.					
Vor Durchschneidung beider	97	—	—	—	
Gleich nach Durchschneidung d. linken depressor	70	75	–	—	
Einige Minuten später . .	93	75	—	—	
b.					
Vor Durchschneidung des rechten n. depressor	103	—	—	—	
Unmittelbar danach . .	78	64	—	—	
Alsbald darauf	103	68	—	—	
10 Minuten später . . .	88	—	—	—	



Berichte d.K.S.Ges.d.W. math.phys.Cl. 1866.

Zur Abhandlung von E. Cyon u. C. Ludwig.

INHALT.

Druck von Breitkopf und Härtel in Leipzig.

Richtlinien für die Manuskriptabfassung.

Es wird zur Beschleunigung der Publikation gebeten, Beiträge an die Schriftleitung in doppelter Ausfertigung einzureichen. Etwaige Tuschzeichnungen oder Photos brauchen nur einfach eingereicht zu werden.
Artikel von mehr als 12 Druckseiten Umfang können in der Regel nicht angenommen werden. Unverlangte Manuskripte können nur zurückgesandt werden, wenn Rückporto beiliegt. Es wird gebeten bei nicht in deutscher Sprache verfaßten Manuskripten eine deutsche Zusammenfassung anzufügen und wenn möglich, zur Vermeidung von Druckfehlern, das Manuskript in Proportionalschrift mit Randausgleich als fertige Photodruckvorlage einzusenden.
Die verwendete Literatur ist, nach Autorennamen alphabetisch (verschiedene Werke desselben Autors chronologisch) geordnet, in einem Schrifttumsverzeichnis am Schluß des Beitrags zusammenzustellen. Die Vornamen der Autoren sind mindestens abgekürzt zu nennen. Bei selbständigen Veröffentlichungen sind Titel, Erscheinungsort und -jahr, womöglich auch Verlag, anzugeben. Zeitschriftenbeiträge werden vermerkt durch Name der Zeitschrift, Band, Seite (z. B. S. 317–324) und Jahr, in dieser Reihenfolge. (Titel der Arbeit kann angeführt werden). Im selben Jahr erschienene Arbeiten desselben Autors werden durch den Zusatz „a", „b" etc. ausgezeichnet. Im Text soll grundsätzlich durch Nennung des Autorennamens und des Erscheinungsjahrs des zitierten Werkes (evtl. mit dem Zusatz „a" etc.), in der Regel aber nicht durch Anführung des ganzen Buchtitels zitiert werden. Wo es sinnvoll ist, sollte bei selbständigen Veröffentlichungen und längeren Zeitschriftenartikeln auch Seitenzahl oder Paragraph genannt werden. Anmerkungen sind zu vermeiden.

Forme des manuscrits.

Pour accélérer la publication les auteurs sont priés, de bien vouloir envoyer les manuscrits en deux exemplaires. Des figures (à l'encre de chine) et des photos, un exemplaire suffit.
En général les manuscrits qui fourniraient plus de 12 pages imprimées ne peuvent être acceptés. Les manuscrits non demandés ne deuvent être rendus que si les frais de retour sont joints. Si les manuscrits ne sont pas écrits en allemand, les auteurs sont priés de bien vouloir ajouter un résumé en allemand et, si possible, pour éviter des fautes d'impression, de fournir le manuscript comme original de l'impression phototechnique, c'est-à-dire tapé avec une machine aux caractères standard et avec marges étroites.
La littérature utilisée doit être citée à la fin de l'article par ordre alphabétique; plusieurs oeuvres du même auteur peuvent être enumérées par ordre chronologique. Le prénom de chaque auteur doit être ajouté, au moins en abrégé. Indiquez le titre, le lieu et l'année de publication, et, si possible, l'éditeur des livres, ou, en cas d'articles de revue, le nom de la révue, le tome, les pages (p.ex. p. 317–324) et l'année, suivant cet ordre; le titre des travaux parus dans de revues peut être mentionné. Les travaux d'un auteur parus la même année sont distingués par «a», «b» etc. Dans le texte on cite le nom de l'auteur, suivi de l'année de l'édition (éventuellement complèté par «a» etc.), mais non pas, en général, le titre de l'ouvrage; si c'est utile on peut ajouter la page ou le paragraphe. Evitez les remarques en bas de pages.

Form of Manuscript.

To speed up publication please send two copies of your paper. From photographs and figures (in indian ink) only one copy is required.
Papers which would cover more than 12 printed pages can normally not be accepted. Manuscripts which have not been asked for by the editor, are only returned if postage is enclosed.
If manuscripts are not written in German, a German summary is requested. If possible these manuscripts should be written as original for phototechnical printing, i. e. typed with proportional types and with straight-line margin.
Papers cited should appear in the Bibliography at the end of the paper in alphabetical order by author, several papers of the same author in chronological order. Give at least the initials of the authors. For books give also the title, the place and year of publication, and, if possible, the publishers. For papers published in periodicals give at least the title of the periodical in the standard international abbreviation, the volume, the pages (e.g. p. 317–324) and the year of publication. (It is useful to add the title of the publication.) When more than one paper of the same author and the same year of publication is cited, the papers are distinguished by a small letter following the year, such as "a", "b" etc. References should be cited in the text by the author's name and the year of publication (if necessary followed by "a" etc.), but generally not with the full title of the paper. It might be useful to mark also the page or paragraphe referred to.